

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1933-1934. — N° 87

LES
ACCIDENTS ÉLECTRIQUES
ET LEUR PROPHYLAXIE
SUR UN RÉSEAU
DE CHEMIN DE FER ÉLECTRIFIÉ
(Travail de l'Institut médico-légal)

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Vendredi 22 Décembre 1933

PAR

Henri-Marie RAMPONT

ÉLÈVE DU SERVICE DE SANTÉ DE LA MARINE

ANCIEN PRÉPARATEUR DE MÉDECINE LÉGALE

Né à ARGENTEUIL (Seine-et-Oise), le 15 juillet 1910

Examineurs de la Thèse

MM. LANDE, professeur.

Président

R. SIGALAS professeur.

PIÉCHAUD, agrégé.

Juges

DAMADÉ, agrégé.

PARIS

IMPRIMERIE DES PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

49, Boulevard Saint-Michel, 49

1933



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LES
ACCIDENTS ÉLECTRIQUES
ET LEUR PROPHYLAXIE
SUR UN RÉSEAU
DE CHEMIN DE FER ÉLECTRIFIÉ
(Travail de l'Institut médico-légal)

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1933-1934. — N° 87

LES

ACCIDENTS ÉLECTRIQUES

ET LEUR PROPHYLAXIE

SUR UN RÉSEAU

DE CHEMIN DE FER ÉLECTRIFIÉ

(Travail de l'Institut médico-légal)

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Vendredi 22 Décembre 1933

PAR

Henri-Marie RAMPONT

ÉLÈVE DU SERVICE DE SANTÉ DE LA MARINE

ANCIEN PRÉPARATEUR DE MÉDECINE LÉGALE

Né à ARGENTEUIL (Seine-et-Oise), le 13 juillet 1910

Examineurs de la Thèse

{	MM. LANDE, professeur	<i>Président</i>
	R. SIGALAS professeur .	{ <i>Juges</i>
	PIÉCHAUD, agrégé	
	DAMADE, agrégé..	

PARIS

IMPRIMERIE DES PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

49, Boulevard Saint-Michel, 49

1933

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

M. SIGALAS..... Doyen.

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. POUSSON, MOURE, W. DUBREUILH, RIVIÈRE, BARTHE,
DENIGÈS, AUCHÉ, SELLIER, BEILLE, CASSAËT

PROFESSEURS

	MM.		MM.
Clinique médicale.....	MAURIAC.	Zoologie et parasitologie.....	MANDOUL
id.....	DUPÉRIÉ.	Médecine expérimentale.....	N.
Clinique chirurgicale.....	CHAVANNAZ.	Clinique ophtalmologique.....	TEULIÈRES.
id.....	BÉGOUIN.	Clinique chirurg. infantile et orthopédie..	ROCHER.
Pathologie et thérapeutiques générales...	CARLES.	Clinique gynécologique.....	GUYOT.
Clinique d'accouchements.....	ANDÉRODIAS.	Clinique méd. des maladies des enfants..	CRUCHET.
Anatomie pathol. et microscopie clinique.	SABRAZES.	Chimie biologique et médicale.....	DELAUNAY.
Anatomie.....	VILLEMIN.	Physique médicale et pharmaceutique...	SIGALAS.
Anatomie générale et histologie.....	G. DUBREUILH.	Médec. coloniale et clin. des mal. exotiques.	BONNIN.
Physiologie.....	PACHON	Clinique des malad. cutanées et syphilitiques	PETGES.
Hygiène.....	LEURET.	Clinique des maladies des voies urinaires.	DUVERGEY
Médecine légale et déontologie.....	LANDE.	Clinique des malad. nerveuses et mentales.	ABADIE.
Electroradiologie et clin. d'électricité médic.	RÉCHOU.	Clinique d'oto-rhino-laryngologie.....	PORTMANN
Chimie.....	CHELLE.	Toxicologie et hygiène appliquée.....	LABAT.
Botanique et matière médicale.....	GOLSE	Hydrologie thérapeutique et climatologie..	CHREYX
Pharmacie.....	DUPOUY	Clinique dentaire.....	CAVALIÉ.

MM MICHELEAU (Médecine générale). MURATET (Anatomie pathologique). LACOSTE (Histologie).

PERY (Obstétrique). PERRENS (Maladies mentales). PAPIN (Chirurgie générale).

R. SIGALAS (Parasitologie, et sciences naturelles). JEANNENEY (Chirurgie générale).

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

	MM.		MM.
Anatomie.....	DUBECQ.	Chirurgie générale.....	CHARRIER.
id.....	DUFOUR.	id.....	LOUBAT.
Physiologie.....	FABRE.	Ob-tétrique.....	RIVIÈRE.
Médecine générale.....	AUBERFIN.	Ophtalmologie.....	BEAUVIEUX.
id.....	DAMADE.	Physique médicale.....	N.
id.....	PIÉCHAUD.	Dermatologie et syphiligraphie.....	JOULIA.
id.....	*DELMAS-MARSALET.	Oto-rhino-laryngologie.....	N.
id.....	N.	Chimie générale pharmaceut et toxicologie.	VITTE.
id.....	N.		

COURS COMPLÉMENTAIRES :

	MM.		MM.
Médecine opératoire.....	PAPIN.	Puériculture.....	FAUGÈRE.
Physiologie.....	FABRE.	Démonstrations et préparations pharmac..	N.
Pathologie médicale.....	DELMAS-MARSALET.	Zoologie et parasitologie.....	R. SIGALAS.
Accouchements.....	RIVIÈRE.		
Ophtalmologie.....			MM. CABANNES (en congé).
Orthopédie chez l'adulte, pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes.			N.
Cours complémentaire annexe. — Prothèse et rééducation professionnelle.....			GOURDON.
id.....	Clinique dentaire.....		DELGUEL.

Par délibération du 5 août 1879, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les Thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ne leur donner ni approbation ni improbation.



A MA MÈRE — A MON PÈRE

A MA FAMILLE

A MES AMIS

A MONSIEUR LE MÉDECIN EN CHEF MIRGUET

Médecin-Chef de l'Hôpital Maritime de Rochefort
Officier de la Légion-d'Honneur
Officier de l'Instruction Publique

A MONSIEUR LE MÉDECIN EN CHEF BRUN

Sous-Directeur de l'École principale du Service de Santé
de la Marine et des Troupes Coloniales
Officier de la Légion-d'Honneur
Croix de Guerre
Officier de l'instruction publique

A MONSIEUR LE MÉDECIN GÉNÉRAL DARGEIN

Directeur de l'École principale du Service de Santé
de la Marine et des Troupes Coloniales
Commandeur de la Légion-d'Honneur
Croix de Guerre
Officier de l'instruction publique

A MONSIEUR LE DOCTEUR DERVILLÉE

qui a bien voulu nous prêter son concours
dans l'élaboration de cette thèse

A MONSIEUR LE PROFESSEUR COURBOULÈS

Médecin-Colonel

Médecin-Chef de l'Hôpital Robert-Picqué

Professeur agrégé du Val-de-Grâce

Chirurgien des Hôpitaux Militaires

Chevalier de la Légion-d'Honneur

Croix de Guerre

A MON MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR P. LANDE

Professeur de Médecine légale et Deontologue

à la Faculté de Médecine de Bordeaux

Chevalier de la Légion-d'Honneur

Croix de Guerre

Officier de l'instruction publique

Au moment d'aborder le travail qui va suivre, nous nous permettons d'exprimer notre reconnaissance à Monsieur le Directeur de la Compagnie des chemins de fer du Midi, qui voulut bien nous autoriser à traiter ce sujet et nous en faciliter l'étude. .

Nous tenons à remercier tout particulièrement M. le médecin-général Uzac, médecin principal du premier arrondissement de la Compagnie des chemins de fer du Midi, pour l'amabilité avec laquelle il nous a accueilli. Nous ne saurions oublier l'intérêt constant qu'il a porté à notre thèse, et l'extrême bienveillance avec laquelle il nous a guidé dans notre tâche. Nous le prions de bien vouloir trouver ici l'expression de nos sentiments respectueusement reconnaissants.

Nous sommes également heureux d'adresser à M. l'Ingénieur Veques, nos vifs remerciements pour l'accueil courtois qu'il nous a réservé et les conseils éclairés qu'il nous a prodigués.

Introduction

Les accidents dus à l'électricité industrielle deviennent de plus en plus fréquents. Dans une communication faite en 1927 au XII^e Congrès de Médecine Légale de langue française, les docteurs F. Naville et G. de Morsier, de Genève, montrent la façon dont l'augmentation du nombre des accidents s'est accélérée au cours de ces dernières années.

En 1891, Biraud estime à dix au plus le nombre total des décès par accident électrique observés en France jusqu'à cette date. Une statistique de l'Inspection du travail, établie pour l'année 1907, annonçait 571 accidents d'électrocution industrielle dont 28 mortels.

Pour Zacon, le nombre des accidents déterminé par l'électricité en France est voisin de 2.000 pour l'année 1911. 200 ont été mortels.

Alvensleben donne des chiffres semblables pour l'Allemagne.

Et Zimmermann écrit, en 1931 : « Deux mille victimes, brûlées, paralysées, etc, et sur ce nombre plus de 300 morts, c'est à ce taux que s'élève approximativement en France, pour 1928, la rançon du développement des usages de l'énergie électrique, et en 1930, ces chiffres ont certainement dû être dépassés. »

Il est particulièrement intéressant d'étudier les électrocutions qui se sont produites au cours de ces dernières années sur un grand réseau de chemins de fer

électrifiés. Les observations recueillies, dues à la collaboration étroite d'ingénieurs et de médecins, présentent une très grande rigueur scientifique au point de vue de la détermination des facteurs électriques des accidents et des réactions physiopathologiques des victimes.

Après une brève description de l'installation électrique du réseau et énumération des différentes tensions qu'on peut y rencontrer, nous étudions dans les deux chapitres suivants le rôle des facteurs physiques du courant, puis la symptomatologie des accidents. Nous donnons dans un quatrième chapitre un aperçu des lésions anatomopathologiques présenté par l'électrocuté, et de l'action du courant sur les différents tissus de l'organisme. Un cinquième chapitre groupe les théories qui ont été émises pour expliquer le mécanisme de la mort. Enfin, nous traitons du sauvetage et de la prophylaxie en matière d'électrocution.

Une deuxième partie de notre travail est consacrée à l'exposé de nos recherches expérimentales et aux observations des cas d'électrocution recueillies sur le réseau des chemins de fer du Midi.

PREMIÈRE PARTIE

I. — Installations électriques de la Compagnie. Son Personnel.

A. — *Distribution de l'énergie électrique dans le réseau.*

L'énergie électrique qui parcourt le réseau de la Compagnie du Midi se présente dans des formes différentes suivant les points des circuits dans lesquels elle est produite, transformée, transportée et utilisée.

Si l'on adopte une classification qu'on pourrait appeler géographique, on doit considérer successivement :

- Les usines hydro-électriques;
- Les lignes du réseau de distribution;
- Les postes de transformation;
- Les sous-stations de traction;
- Les locomoteurs.

USINES HYDROÉLECTRIQUES. — Dans ces usines se trouvent les sources d'électricité qui alimentent le réseau : ce sont des alternateurs débitant du courant triphasé à 50 périodes par seconde, à la tension de 60.000 volts, entre phase.

RÉSEAU DE DISTRIBUTION. — Si l'on classe les lignes électriques de transport selon la tension de leurs conducteurs, on est conduit à adopter l'ordre suivant :

1) Les lignes à 150.000 volts réunissent le groupe des usines productrices de courant aux extrémités du réseau et permettent ainsi de l'alimenter sans que joue la chute du potentiel le long des petites lignes à faible voltage.

2) Les lignes à 60.000 volts groupent entre elles les différentes usines hydroélectriques et forment un réseau qui s'étend sur toute la longueur des voies, à peu de distance de ces dernières; il se raccorde aux postes abaisseurs qui lui permettent d'être alimenté par les grandes lignes à 150.000 volts, et fournit lui-même l'énergie électrique aux sous-stations qui débitent le courant continu sur les caténaires.

3) Les lignes à 10.000 volts fournissent parfois l'éclairage et la force motrice aux gares, et suivent les caténaires dont elles empruntent les supports.

4) Les lignes caténaires sont parcourues par du courant continu à 150.000 volts; elles alimentent les locomoteurs.

5) Les lignes à 220-225 volts et à 110-115 volts alternatifs sont généralement utilisées pour l'éclairage des locaux.

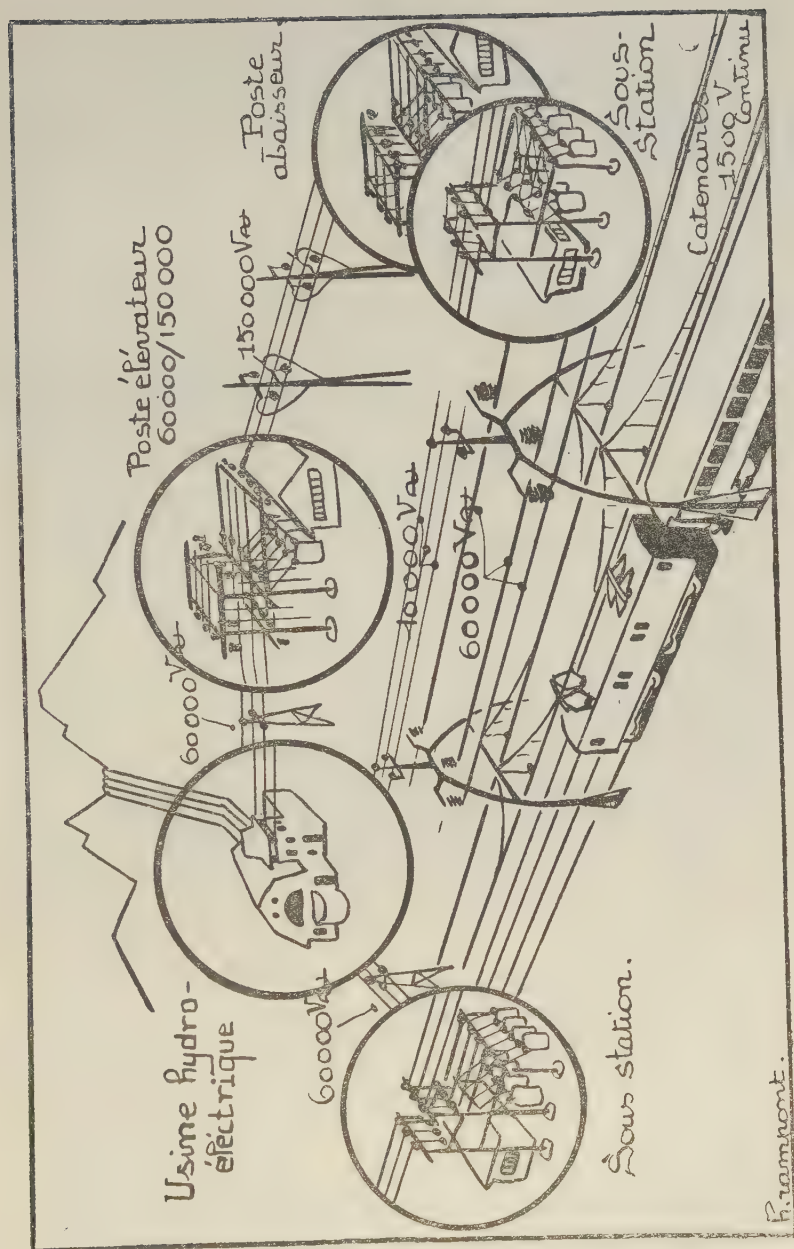


Fig. 1,

6) Certaines lignes à 220 volts et à 100 volts continus se rencontrent dans les dépôts et à bord des locomoteurs.

POSTES DE TRANSFORMATION. — Une partie du courant à 60.000 volts fourni par les alternateurs des usines hydro-électriques est déversée directement sur les lignes à 60.000 volts, desservant les sous-stations de traction les plus voisines des usines productrices. Pour alimenter sans perte de tension exagérée les points éloignés du réseau à 60.000 volts, on s'est adressé, comme on l'a vu plus haut, à un super réseau à très haute tension.

On a donc construit près des usines productrices des postes de transformation élevant la tension de 60.000 à 150.000 volts, et des postes abaisseurs de 150.000/60.000 aux points où ce super réseau doit débiter son énergie sur le 60.000. Tous comprennent des appareils extérieurs (transformateurs et disjoncteurs), et des appareils intérieurs (tableaux de distribution, compensateurs synchrones, etc.).

SOUS-STATIONS. — Ces sous-stations transforment le courant alternatif de 60.000 volts du réseau en courant continu à 1.500 volts et le déversent sur les catenaires où les archets des pantographes des locomotives viennent le capter.

Là aussi on retrouve des appareils extérieurs (les mêmes que précédemment) et des appareils intérieurs. Ces derniers comprennent les tableaux de distribution et les appareils qui effectuent la transformation en continu : groupes convertisseurs composés d'un

moteur fonctionnant sur l'alternatif accouplé à une dynamo; commutatrices qui, en tournant sous l'influence de l'alternatif débitent elles-mêmes du continu; redresseurs à vapeur de mercure, sortes de valves gigantesques qui ne laissent passer le courant que dans un sens.

LES LOCOMOTEURS. — Ces locomotives sont mues par des moteurs de traction utilisant le courant des catenaires. Une petite installation à 120 volts continu fournit le courant aux appareils d'éclairage et aux différents servo-moteurs.

B. — Le Personnel.

Les agents employés par la Compagnie sont soumis à une visite d'admission assez sévère (plus sévère même pour certains détails que la visite d'incorporation des jeunes soldats). Jusqu'à ces temps derniers, elle n'avait pas été particulièrement dure au point de vue des tares plus spécialement dangereuses lors d'un accident électrique éventuel. Les alcooliques, les nerveux, les individus fatigués étaient écartés pour les raisons qui les font rejeter par n'importe quelle entreprise industrielle.

On verra, au chapitre qui traite de la prévention des accidents électriques qu'il n'en n'est plus de même aujourd'hui.

Le service n'est pas extrêmement dur, étant donnée la brièveté relative des trajets effectués par les machines, et les hommes ne sont pas surmenés. Tout au plus peut-on dire qu'ils souffrent parfois de la température qui règne dans les locomoteurs au cours des mois chauds de l'été, pendant lesquels le thermomètre atteint 55°.

II. — Les accidents électriques et leurs facteurs de gravité.

A. — Facteurs physiques.

FORME ET FRÉQUENCE DU COURANT. — Au moment où se produit l'accident électrique, le corps de la victime se trouve placé dans les mêmes conditions que tout autre conducteur intercalé entre deux bornes soumises à une différence de potentiel. Il devient le siège d'un courant qui nous offre à considérer les mêmes facteurs que ceux qu'on étudie dans les laboratoires ou dans l'industrie.

Cette différence de potentiel «aux bornes de la victime» est constante quand l'accident survient sur une installation où le courant continu est utilisé. Le courant qui traverse l'accidenté est alors lui-même continu. Il sera discontinu dans le cas des installations parcourues par d'autres courants.

Dans la plupart des cas, le courant en cause est alors du type sinusoïdal, puisque c'est la forme sous laquelle les Compagnies productrices et distributrices vendent l'énergie électrique au consommateur.

Dans les autres, la loi de variation du courant élec-

trique relève d'autres fonctions que la sinusoïde. Ce sont les courants alternatifs (dont le courant sinusoïdal n'est qu'un cas particulier) et d'une façon plus générale tous les courants périodiques.

Dans tous ces cas, où la loi de la variation est telle que le courant repasse périodiquement par les mêmes valeurs, on peut mesurer le nombre N de passages par seconde. C'est la fréquence du courant. On en déduit le temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs ou période.

Le danger que court le sujet parcouru par ces différents courants varie avec chacun d'eux. D'après les recherches de Prévost et Batelli, à intensité égale, le courant continu présente quatre fois moins de danger que le courant alternatif. Ce qui n'empêche pas ces deux auteurs d'écrire en 1900 : « L'inhibition du système nerveux produite par le passage d'un courant continu est beaucoup plus prononcée, toutes conditions étant égales, que celle qui résulte d'un courant alternatif. Ainsi un courant alternatif de 600 volts appliqué de la tête aux pieds chez le lapin pendant 3 secondes détermine un choc nerveux peu prononcé si les trémulations du cœur sont passagères. Dans les mêmes conditions un courant continu de 550 volts produit une prostration très grave et quelquefois la mort par inhibition des centres nerveux ». On voit que les faits n'étaient pas encore clairement catalogués à la fin du siècle dernier.

En lisant l'arrêté du 21 mars 1911 qui classa dans la même catégorie les courants continus de 600 volts et les courants alternatifs de 150 volts considérés comme représentant le même danger pour l'usager, on peut être amené à croire que la notion du courant alternatif quatre fois plus dangereux que le continu

était alors définitivement admise par tous. En réalité, on voulut surtout conserver dans la catégorie dite peu dangereuse les installations de traction à peu près toutes en courant continu de voltage aussi élevé, de façon à ne pas les contraindre à des modifications coûteuses dont l'utilité n'apparaissait pas avec toute évidence.

A cette même époque, le courant continu était même considéré souvent comme plus dangereux que son rival. C'est ainsi que dans une communication qu'il fit à la Société internationale des Electriciens, et qui parut en mai 1910 dans le bulletin de cette société, D'Arsonval disait : « Le courant continu paraît plus dangereux que le courant alternatif », tout en reconnaissant que « un temps prolongé (de passage du courant) paraît plus dangereux dans le cas de courant alternatif ».

Et l'année suivante, le docteur Weiss fit à la même Société une communication relatant ses nombreuses expériences sur les effets physiologiques des courants électriques, où l'on trouve ces lignes : « Si l'on fait passer un courant continu à travers un tissu animal, un muscle par exemple, on constate sur tout le trajet du courant des altérations qu'on n'observe jamais avec le courant alternatif », puis : « Un sujet est frappé par un courant alternatif; il a quelques brûlures; une fois guéri, il est indemne, il n'y a plus rien à craindre pour l'avenir. Mais dans le cas d'un accident dû au courant continu, il faut être plus réservé sur les suites de l'accident ». Cela tiendrait aux lésions durables que le continu détermine par électrolyse.

On admet aussi que les troubles du système nerveux central étaient plus graves avec le courant continu qu'avec le courant alternatif.

Actuellement, l'accord est à peu près fait sur la plus grande nocivité des courants alternatifs, et des auteurs connus, Cot, Zimmern et Simonin, écrivent à nouveau, comme l'avaient fait Prévost et Batelli, qu'un courant continu doit être quatre à cinq fois plus intense qu'un courant alternatif pour entraîner les mêmes dangers

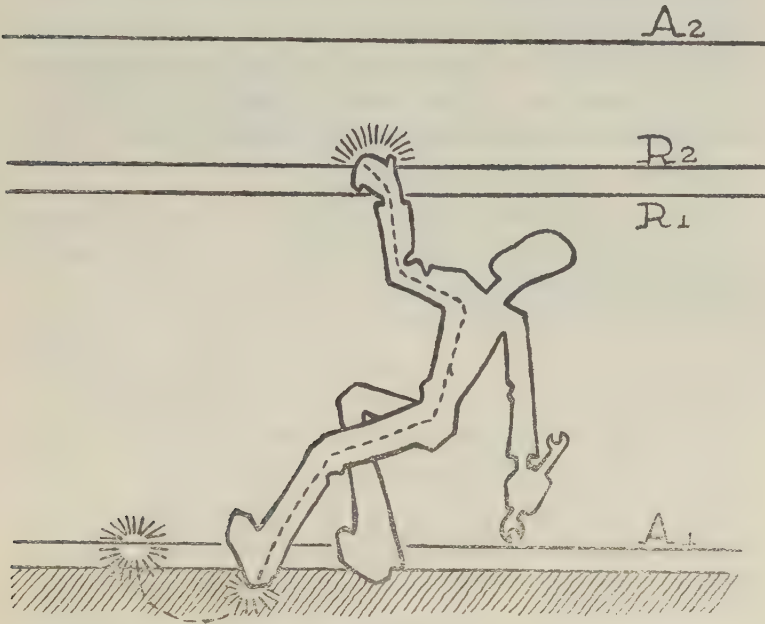


Fig. 2.

que ce dernier. Cela tient aux changements de phase extrêmement rapides de l'alternatif qui créent des désordres biologiques (tétanos physiologique) particulièrement graves pour les fréquences de 25 à 50, qui sont justement celles des courants domestiques et industriels. D'autre part, ils sont dangereux parce qu'ils provoquent une crispation des mains qui tend à prolonger le contact avec les conducteurs sous tension.

En envisageant l'alternatif d'un autre point de vue, d'Hellmund et Georges-Claude ont montré que, dans certaines conditions, l'accident se produisait fatalement avec le courant alternatif, alors que du courant continu n'aurait présenté aucun danger. On sait que l'interposition d'un condensateur convenablement choisi sur un circuit parcouru par un courant alternatif n'interrompt pas ce dernier. De même, quand une solution de continuité d'un circuit accidentel réalise les conditions d'un diélectrique entre les deux armatures d'un condensateur, l'alternatif passe là où le continu est arrêté.

Georges-Claude donne un exemple de circuit accidentel ainsi bouclé parce que deux conducteurs isolés jouent le rôle d'un condensateur.

Les deux fils de retour R1 et R2 de deux circuits parfaitement indépendants (fig. 2) sont disposés parallèlement, très près l'un de l'autre, sur une assez grande partie de leur longueur. Le fil aller du premier circuit A1, peu distant des deux fils de retour, présente un défaut d'isolement qui met le sol sous tension à l'endroit même où se trouve placé un ouvrier qui s'apprête à réparer un organe électrique placé sur le fil de retour R2 du deuxième circuit, dans lequel on a interrompu le passage du courant pour toute la durée de la réparation. Les deux conducteurs parallèles R1 et R2 se comportent comme les deux armatures d'un condensateur dont l'une serait en rapport avec le retour du premier circuit. Au moment où l'ouvrier touche l'autre, en l'espèce le conducteur à réparer R2, il ferme à travers ce conducteur et son propre corps un circuit qui met en rapport le fil aller et le fil retour du circuit sous tension. S'il s'agit de continu, le courant ne traverse pas le condensateur et le sujet ne court aucun danger.

Il sera au contraire électrocuté s'il a affaire à du courant alternatif, malgré l'isolement du circuit sur lequel il travaillait. Remarquons toutefois que l'accident résulte d'un concours de circonstances se réalisant rarement, et que dans le cas où elles se trouvent réunies on peut souvent dépister le danger à l'avance.

Dans la pratique, tous ces défauts de l'alternatif ne peuvent contrebalancer les immenses avantages qu'il présente au point de vue industriel. Il permet de réaliser des réseaux plus économiques que le continu, et on peut envisager avec lui l'emploi de courants absolument inoffensifs chez l'usager, en abaissant convenablement sa tension à l'aide d'un transformateur, sans apporter aucune modification au matériel des entreprises produisant ou distribuant l'électricité.

Disons dès maintenant que ces avantages sont tels que l'alternatif s'est substitué au continu dans la presque totalité des installations terrestres, et que l'on envisage, dans le monde maritime, la suppression de ce dernier qui avait seul été admis à bord des bateaux jusqu'à maintenant.



Le rôle que joue la fréquence lors de l'accident électrique n'est pas discuté dans son principe. Le danger se présente comme une fonction de la fréquence N . Il commence par croître avec cette dernière, il passe par un maximum, puis diminue pour devenir nul quand on affecte à N une valeur suffisante.

Les opinions divergent de nouveau quand il s'agit de la valeur numérique de N pour le danger maxi-

mum. Prévost et Batelli estiment qu'il répond à une fréquence de 150 périodes par seconde. Il serait diminué des deux tiers environ pour 200 périodes, et il serait réduit au vingtième pour 1700 périodes.

Pour Zacon, le danger croît pour toutes ces valeurs de N et n'atteint son maximum que pour $N=3000$.

Par contre, tous les auteurs s'accordent à reconnaître l'innocuité des courants de plus de 500.000 alternances par seconde, couramment employés en électrothérapie (d'Arsonvalisation, diathermie).

D'Arsonval explique cette innocuité de la façon suivante. Un nerf n'est excitable que dans certaines limites : le nerf auditif ne perçoit que des vibrations de fréquence supérieures à 16 périodes par seconde, et inférieures à 36.000. Il en serait de même pour les nerfs moteurs : pour 20 à 30 excitations par seconde, le tétanos commence; entre 30 et 150 il devient parfait et augmente jusqu'à 3500; au-dessus le tétanos diminue, à 10000 la secousse musculaire est minima, et au-dessus le muscle ne répond plus à l'excitation.

Une autre hypothèse est celle de l'innocuité de la haute fréquence par suite de l'effet kelvin limitant le passage du courant à la surface. L'explication de cette dérivation en surface est la suivante : On admet que le courant électrique se distribue dans le conducteur, sous forme d'un faisceau formé d'une infinité de courants élémentaires sensiblement parallèles. Ces courants, dirigés tous dans le même sens, s'attirent réciproquement. Le calcul montre, et l'expérience vérifie qu'il en résulte une répartition non homogène du courant qui est repoussé vers la périphérie du conducteur, où il atteint une forte densité, tandis qu'il se raréfie dans les parties de la section voisine de l'axe.

Quand on a affaire à de l'alternatif, le phénomène

dépend encore de la fréquence, il est d'autant plus marqué que cette dernière est plus forte. Cela a permis aux ingénieurs de supprimer la partie centrale de certains conducteurs en cuivre transportant de la haute fréquence en remplaçant du fil plein par du tube, d'où diminution de poids et de prix de revient des appareils sans augmentation de leur résistance. Appliqué à l'électrocution, la théorie de l'effet kelvin a conduit à admettre que tout se passait comme s'il existait une « coque », une « peau » conductrice et insensible où se trouverait localisé le courant. Cette explication était admise par les techniciens présents à la Conférence internationale des grands réseaux électriques à très haute tension, il y a quelques années.

Elle paraît actuellement peu satisfaisante. D'Arsonval avait toujours lutté contre cette conception, et l'avait infirmée par des expériences déjà anciennes qu'il rappela en 1927 à l'Académie des Sciences, dans sa communication sur l'échauffement des tissus par les courants à haute fréquence.

L'année suivante, dans un article de la *Revue générale de l'Electricité* sur le danger d'électrocution et en particulier sur l'influence de la fréquence élevée, l'ingénieur P. Bunet, sans s'associer à la théorie de D'Arsonval, nie la possibilité d'expliquer l'innocuité de la haute fréquence par l'effet kelvin.

Appliquant la formule qui donne l'épaisseur de la « peau » de localisation du courant en fonction de la perméabilité magnétique, de la fréquence (grandeurs physiques non discutables) et de la conductivité du sujet (pour laquelle il adopta un chiffre plutôt défavorable à sa démonstration) il arriva aux chiffres suivants : Pour une fréquence de 10000 périodes par seconde, l'effet kelvin ne peut expliquer l'innocuité du

courant que pour des individus hauts de 16 kilomètres, sur lesquels le courant se propage dans une coque de 16 mètres. Pour 100.000 périodes la taille n'est plus que de 5 kilomètres et l'épaisseur de la coque de 5 mètres. Ce n'est que pour une fréquence de un trillion de périodes par seconde qu'un individu mesurant 1 m. 60 échappe à l'électrocution, par localisation du courant dans une coque de 16 millimètres.

Si l'on prend le problème autrement, en cherchant les valeurs de la résistivité pour qu'à diverses fréquences la « peau » soit de l'ordre de 1 millimètre, la taille de l'individu restant normale, on est conduit à envisager des résistivités infinies, à admettre que les humeurs de l'organisme sont plus conductrices que des solutions concentrées de potasse, de soude ou de sel marin. Les valeurs admissibles de la résistivité correspondent aussi à des fréquences de l'ordre de grandeur du trillion.

L'effet kelvin ne peut donc être invoqué quand il s'agit d'expliquer l'innocuité de la haute fréquence, à moins qu'on ne considère des fréquences extraordinairement élevées, qu'on n'obtient pas avec l'appareillage usuel. Et encore faudrait-il expliquer pourquoi le passage du courant dans une coque de 1 millimètre, correspondant par conséquent au revêtement cutané de l'individu ne détermine aucun phénomène objectif ni même subjectif à son niveau.

Quillemot, alors électro-radiologiste de l'Hôtel-Dieu, avait donné une troisième explication. Il comparait l'effet produit par chaque demi-période du courant alternatif à celui que produit sur un sujet en expérience l'application très courte d'une forte différence de potentiel réalisée au moyen d'un montage potentiométrique suivant : les circuits des électrodes d'appli-

cation étant d'abord shuntées par un conducteur, on rompt le court-circuit ainsi formé par une balle de fusil qui coupe très peu de temps après le circuit d'application de la tension au patient. La sensation éprouvée par celui-ci est réduite relativement à la tension. Plus la durée d'application est courte, plus la tension appliquée peut être élevée. Pour une grande fréquence de l'alternatif, la période est très courte, et la tension pourrait atteindre des chiffres élevés sans aucun inconvénient pour le sujet.

Mais il faut noter que le montage potentiométrique employé, dû au docteur Weiss, est le siège de phénomènes d'ordre purement électrique (inductance des circuits, effet kelvin transitoire) qui ne permettent pas à la tension de s'établir instantanément. Le temps que met la balle à établir et à couper le courant peut être inférieur au temps nécessaire à l'établissement de cette tension, et le sujet n'être soumis qu'à un choc électrique minime. Il est donc hasardeux de rapprocher le courant qui s'établit pendant une demi-période alternatif, et celui qui n'a peut-être pas le temps de prendre une valeur appréciable pendant le temps qui sépare la coupure des deux conducteurs par la balle.

Pour Bunet, c'est une quatrième hypothèse qui rend le mieux compte des faits observés, et qui se justifie quantitativement par les calculs les plus admissibles. Il assimile les tissus vivants, composés de liquides et de solides plus ou moins conducteurs, à un réseau de cellules électrolytiques placées en parallèle et en série de façon compliquée, les liquides jouant le rôle d'électrolytes, les solides celui d'électrodes. Quand on fait passer un courant continu dans une cellule électrolytique contenant un liquide aqueux, l'hydrogène et l'oxygène provenant de la décomposition de l'électro-

lyte apparaissent d'abord sur chacune des deux électrodes sous la forme de voiles très légers. Ces voiles, composés d'oxygène sur l'électrode d'entrée et d'hydrogène sur l'électrode de sortie, deviennent plus épais, puis des bulles apparaissent, qui restent adhérentes; elles augmentent ensuite de volume, et ne se détachent enfin qu'après un temps de passage du courant relativement grand. Si nous inversons le courant bien avant que ce temps ne se soit écoulé, aussitôt après l'apparition du voile, nous amenons l'oxygène naissant sur le voile d'hydrogène, et inversement l'hydrogène naissant sur le voile d'oxygène. La recombinaison des deux gaz est immédiate et intégrale. On peut recommencer indéfiniment, à condition de ne faire circuler le courant dans chaque sens que pendant des temps très courts et rigoureusement égaux. Cela revient à dire qu'on peut éviter la décomposition durable avec un courant alternatif de fréquence suffisante.

Si nous avons attendu trop longtemps et laissé échapper des bulles, nous aurions eu une décomposition non reversible, ce qui arrive avec les courants alternatifs à basse fréquence.

« Dans le cas du réseau complexe de cellules, constituant un tissu vivant, le phénomène est évidemment plus compliqué, mais son allure générale reste la même; il ne faut d'ailleurs pas considérer que la formation de gaz s'opère telle qu'elle aurait lieu sur des électrodes métalliques avec de l'eau. Les électrodes elles-mêmes, composées de liquides et de solides, c'est-à-dire en somme les tissus des organes participeront à la décomposition. Aux basses fréquences, les produits gazeux ou non resteront sur place si le temps est court et l'alternance inverse amènera la recombinaison. Si l'alternance dure un temps suffisant, les produits de

décomposition s'en iront, par différence de densité, par circulation générale... et la décomposition restera acquise, d'autant plus que la fréquence sera plus « faible ».

Essayant de donner des chiffres, pour voir s'il tombe sur des nombres acceptables, Bunet montre que pour un courant alternatif à 50 périodes de 1 ampère, il se forme 1 millimètre cube d'hydrogène pendant une demi-période. En admettant que la moitié de ce volume se dégage sous forme de bulles, et qu'il en soit de même pour le demi-millimètre cube d'oxygène formé, il se dégage $1/33^e$ de centimètre cube par seconde et par cellule. Etant donné le très grand nombre de cellules du réseau on libère plusieurs centimètres cubes par seconde, et on décompose les tissus de façon irréparable.

Ce dégagement diminuera avec la fréquence, et quand on atteindra $N=500.000$, le même courant de 1 ampère produira 10.000 fois moins de gaz par alternance, sous forme de voiles très légers adhérant aux électrodes. Les bulles n'auront pas le temps de se former, encore bien moins celui de se dégager, et le volume de gaz produit restera intégralement sur place, aux points les plus favorables à une recombinaison lors de l'alternance suivante.

Quelle que soit leur explication de l'influence de la fréquence sur le danger électrique, les auteurs admettent tous que les valeurs de N comprises entre 25 et 50, correspondant aux courants débités par les alternateurs des grandes compagnies, présentent un danger peu inférieur dans la pratique au danger maximum. Pour le réduire d'une quantité qui en vaille la peine, il faudrait dépasser largement le chiffre de 4.000 alternances par seconde; cela reviendrait à faire tourner

des alternateurs à des vitesses très grandes, réalisables dans l'état actuel de la technique, mais exigeant de grandes dépenses d'établissement. Il est en effet très difficile d'établir des pièces tournantes de grandes dimensions, quand elles comportent une grande proportion de matière isolante fragile, dont la densité est très différente du métal. On exposerait aussi l'installation et son personnel au risque d'un éclatement toujours possible.

TENSION. — Les potentiels, ou tensions des points entre lesquels se trouve placé le corps d'un sujet blessé par le courant électrique peuvent présenter toutes sortes de valeurs.

Le cas le plus simple est celui dans lequel ils restent toujours égaux à eux-mêmes, et où leur différence (ou force électromotrice) demeure constante. On s'est placé dans ce cas pour définir l'unité de force électromotrice ou volt, généralement désignée par la lettre E. Le volt est représenté alors par la fraction $1,0000 : 1,0183$ de la force électromotrice constante régnant entre les pôles d'une pile spéciale, dite élément Weston, à la température de 20° centésimaux.

On appelle voltage, ou tension du courant, le nombre de volts aux bornes du circuit dans lequel il se propage.

Lorsqu'on a affaire à un courant alternatif, la différence de potentiel est variable. Elle s'annule et change de signe deux fois par période. Il existe un dispositif expérimental, utilisant un appareil spécial de mesure du volt, ou voltmètre thermique, qui permet de définir un voltage efficace constant du courant alternatif.

L'unité est toujours le volt, répondant à la définition donnée ci-dessus.

Dans ce deuxième cas, comme dans le premier, le courant passe tant que le circuit accidentel est fermé. C'est ce qui arrive quand un individu entre en contact avec les conducteurs d'une installation électrique, et entre lesquels un générateur entretient une différence de potentiel durable.

Dans un troisième ordre de faits, le corps qui sert de support à l'un des deux potentiels est isolé. La différence de potentiel diminue à mesure que le courant passe. Si c'est le fort potentiel qui est isolé, elle s'annule par épuisement de l'énergie électrique que supportait ce dernier. Dans le cas contraire elle s'annule par saturation du faible potentiel qui se trouve rapidement porté à la même tension que le fort. La bouteille de Leyde mise à la terre nous offre un exemple du premier mécanisme. C'est aussi ce qui se passe lorsque, isolé par un tapis de caoutchouc épais, chargé d'électricité par les appareils tout proches, un radiologiste voit jaillir une étincelle de son doigt au moment où il touche un support mis à la terre. Le second mécanisme entre en jeu quand un ouvrier, monté sur un tabouret isolant, touche une pièce sous tension d'un appareil électrique quelconque.

Enfin, nous pouvons envisager un quatrième cas : celui de deux corps isolés chargés d'électricité à des tensions différentes. Le conducteur qui les réunit est parcouru par un courant électrique qui dure jusqu'à ce que le système soit en équilibre. Ce pourrait être le cas de l'aéronef foudroyé entre deux nuages, mais dans la pratique, le circuit n'étant jamais continu, le courant de décharge est un courant alternatif, présentant les mêmes caractéristiques que ceux que l'on réa-

lise au laboratoire avec un oscillateur. C'est peut-être à la très grande fréquence de ce courant qu'il faut attribuer le fait que des avions ont pu être frappés en plein vol par la foudre, sans qu'aucun de leurs passagers ait été incommodé.

Les électrocutions par courants industriels relèvent des deux premiers mécanismes : le courant passe tant que la victime fait court-circuit en réunissant les deux potentiels.

Les valeurs présentées par la différence de ces deux potentiels jouent un rôle assez important lors de l'accident électrique. Le décret du 1^{er} octobre 1913, concernant l'hygiène et la sécurité des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques, classe les installations en deux catégories, d'après la plus grande tension existant entre les conducteurs et la terre. La première catégorie comprend les tensions inférieures à 600 volts en courant continu, ou à 150 volts efficaces en courant alternatif. La seconde groupe toutes les tensions supérieures à ces chiffres. La même année, à la suite des travaux de la commission nommée par le ministre des Travaux publics, et que présidait le docteur Weiss, un arrêté de ce même ministre distingue trois cas au point de vue des précautions à prendre en vue du sauvetage d'un électrocuté : les installations domestiques de 120 volts étoilés alternatifs, ou de 110 à 230 volts continus; les installations de la 2^e catégorie et de tension composée inférieure à 600 volts, et enfin les installations de tension composée supérieure à 600 volts. Dans cette troisième catégorie, on redouble de sévérité dans les prescriptions à partir de 6.000 volts.

Le décret du 23 janvier 1927, donnant le texte des affiches relatives aux mesures à prendre pour la pro-

tection dans les usines électriques, envisage trois cas de sauvetage des victimes :

1) Tensions au plus égales à 600 volts, en courant continu, à 250 volts en courant alternatif simple, et à 250 et 430 volts en courant alternatif triphasé.

2) Tensions supérieures aux précédentes et au plus égales à 6.000 volts en courant continu, à 6.000 volts en courant alternatif simple et à 3.500 et 6.000 volts en courant alternatif triphasé.

3) Tensions supérieures à 6.000 volts en courant continu, à 6.000 volts en courant alternatif simple et à 3.500 et 6.000 volts en courant alternatif triphasé.

En lisant ces pièces, on a l'impression que l'Etat admet officiellement l'existence d'une relation de proportionnalité entre la tension et la gravité de l'accident. Dans la réalité, ce n'est pas la gravité de l'électrocution qui augmente avec la tension : c'est le risque, le nombre de chances de le voir se produire. Une installation de basse tension pardonne bien des imprudences; l'accident, souvent très grave pour la victime, est pratiquement rare. En haute tension, au contraire, les accidents, moins souvent mortels qu'en basse tension, auraient été extrêmement fréquents sans les précautions rigoureuses rendues obligatoires par les décisions ministérielles que nous avons citées ci-dessus. Malgré la surveillance qui s'exerce sur les réseaux de distribution de la haute tension, malgré les précautions prises lors de leur établissement, il arrive que la tension se communique aux objets avoisinants, à la suite d'une baisse accidentelle de la résistance d'un isolateur. C'est le cas d'un pylone mis sous tension par la rupture d'un isolateur, ou celui d'un arbre qui touche la ligne, et qui se trouve ainsi porté à un potentiel élevé. La tension maxima au niveau du point de con-

tact avec le conducteur diminue progressivement quand on s'éloigne de celui-ci. Si elle garde une valeur suffisante au pied du pylone ou de l'arbre, chacun des points du sol qui l'entourent se trouve porté à une tension inversement proportionnelle à la distance qui l'en sépare. Les points de même potentiel se trouvent répartis sur des courbes concentriques, entourant le pylone, appelées en langage technique cercles de potentiel. Le sujet qui passe à proximité et qui pose ses pieds sur des cercles suffisamment écartés se trouve soumis à une différence de potentiel qui peut être assez grande pour le tuer. C'est par ce mécanisme que fut électrocuté le soldat dont tous les auteurs rappellent à leur tour le cas. Urinant sur le bord d'une route en remblai, bordée par les pylones d'une ligne de transport aérienne, il atteignit un cercle de potentiel écarté de ceux sur lesquels ses pieds étaient placés et fut électrocuté.

On peut expliquer de la même façon l'accident de la garde-barrière qui, venant de laver son linge, se trouvait avec des chaussures humides sur le terre plein de son passage à niveau, à 300 mètres d'un pylone en contact avec une ligne de 60.000 volts triphasés (soit 33.000 entre phase et terre). Elle fut précipitée à terre et mortellement électrocutée.

Une mise à la terre soignée du pylone empêche théoriquement la mise sous tension de son pied et du terrain dans lequel il est implanté. Dans les pays scandinaves et en Allemagne, c'est une obligation pour les Compagnies d'entretenir les plaques de terre de leurs pylones dans un état tel que le voltage mesuré entre deux cercles de potentiel éloignés de 80 centimètres ne dépasse pas 80 volts, considérés comme peu dangereux. C'est la règle des 80 « volts-pas », 80 centi-

mètres représentant chez ces races la longueur du pas moyen. Il est évident que le cas de l'arbre en contact avec la ligne ne permet d'envisager aucune protection par mise à la terre. Si l'on n'a pas la certitude que les 80 volts-pas ne sont pas dépassés, il est recommandé de s'approcher des installations suspectes à très petits pas, un médecin dirait « à la façon dont marchent les parkinsoniens ».

Dans ces cas tout à fait spéciaux d'électrocution, survenus sur des installations à haute tension, mais au cours desquels la victime a été soumise à des voltages de l'ordre de grandeur de la basse tension, nous aurons les mêmes réactions physiologiques. Dans les autres, où le sujet se trouve soumis à toute la différence de potentiel E qui règne entre 2 fils d'un courant continu ou alternatif, ou à la tension $E : \sqrt{3}$ entre l'un des fils d'un courant triphasé et la terre, la haute tension n'infligera le plus souvent que des brûlures plus ou moins étendues, des shocks immédiats ou non, avec des sequelles transitoires (paralysies motrices, hypo ou hyperesthésies passagères). C'est du reste la raison pour laquelle les exécutions pénales américaines, après avoir au début été essayées avec la haute tension et n'avoir pas été toujours efficaces, se pratiquent aujourd'hui sous des tensions de 300 à 400 volts.

Pour ce qui est de la basse tension, en entendant par basse tension celle qui est admise dans les ateliers et dans les habitations sans prescription ou garde, il existe entre le voltage et le danger un certain rapport de proportionnalité.

Prevost et Batelli avaient cru ce rapport rigoureux, et avaient admis que pour les valeurs de E inférieures à 100 volts le danger était nul. Pour E compris entre 100 et 150 il devenait appréciable, il était réel de 150

à 600, et la mort devait être considérée comme inévitable au-dessus de 600 volts.

Par la suite, ils ont vu que d'autres facteurs intervenaient et, faisant porter leurs recherches sur les autres caractères physiques du courant régnant dans le circuit accidentel, ils ont complètement abandonné cette conception pour s'attacher à l'étude de l'intensité.

Il n'en reste pas moins vrai que dans ces limites de la basse tension, pour un même circuit accidentel, une différence de potentiel donne naissance à des phénomènes électriques plus intenses, et par conséquent à des lésions plus graves qu'une tension moitié moindre. On admet actuellement que le danger peut être en général considéré comme négligeable pour E inférieur à 50 volts, mais que la tension dangereuse peut être parfois abaissée à 20 volts, quand se trouve réuni un ensemble de conditions défavorables.

INTENSITÉ

En fait, chaque accident est une résultante, il nécessite le concours d'un certain nombre de facteurs physiques. Celui qui domine est non la tension, mais le débit du courant, appelé *intensité*. Il semble que les effets physiopathologiques du courant dépendent surtout de l'intensité, comme en dépendent les effets chimiques, auxquels on s'est rapporté pour déterminer l'unité de l'intensité du courant ou ampère, désignée par la lettre I.

L'ampère international est représenté en pratique par l'intensité d'un courant constant qui, traversant une solution d'azotate d'argent dans l'eau, dépose l'argent à raison de 0,001118 gramme par seconde. On appelle *ampérage* d'un courant, le nombre d'ampères circulant dans le circuit où il se propage.

Le courant alternatif ne décompose pas les électrolyses, son intensité est variable, s'annulant et changeant de signe à chaque 1/2 période. Par définition, son intensité moyenne est nulle. On définit alors une *intensité efficace* du courant. C'est l'intensité d'un courant continu qui, pendant la durée de chaque période dégagerait la même quantité de chaleur que le courant alternatif considéré. Ainsi peut-on mesurer l'ampérage d'un courant alternatif en se servant de la même unité que pour le continu.

Il est maintenant bien admis que la gravité des accidents provoqués par le courant est lié à son intensité et non pas à son voltage. « Ou est tué non par des volts, mais par des ampères » (Zimmern). La détermination de l'ampérage mortel est une question difficile à résoudre. L'expérimentation sur l'animal est incapable de nous éclairer, puisque la sensibilité d'animaux d'espèces différentes est inégale, et plus ou moins éloignée de celle de l'espèce humaine. Des chiffres approximatifs ont néanmoins été énoncés. Pour d'Arsonval, la mort survient pour les valeurs de I supérieures à 100 milliampères. Pour Zacon, l'intensité mortelle est de 80 milliampères. Pour Weber, elle descend à 30 et même 20 milliampères. Kammerer relève des troubles graves pour $I = 50$, et admet que la mort survient pour $I = 100$. Monmeroué estimait le danger déjà réel pour un courant alternatif de 18 milliampères.

Les expériences réalisées sur des chiens au laboratoire central d'électricité en 1909 et 1910, par une commission nommée par le ministre des Travaux publics, et présidée par le D^r Weiss, donnent l'explication la plus satisfaisante des phénomènes observés lors des électrocutions. Les résultats semblent être applicables à l'homme, sauf variation des limites numériques correspondantes. Pour les valeurs de I notablement inférieures à 80 milliampères, la respiration cesse dès l'application du courant. Le cœur ne s'arrête pas, et dès que le courant est supprimé, la respiration reprend spontanément si la durée d'application n'a été que de quelques secondes. Si cette durée a été plus longue, le retour de cette fonction ne se fait qu'après respiration artificielle. Une application très longue de courant, même très faible, finit par donner la mort par asphyxie, au bout d'une dizaine de minutes chez le chien.

Dans les muscles du corps tétanisés par le passage du courant, les combustions intra-organiques s'élèvent énormément, absorbant une grande quantité d'oxygène dont le renouvellement au niveau du poumon est rendu impossible par la tétanisation des muscles du thorax. La mort survient par asphyxie.

Pour une valeur de I supérieure à 80 milliampères, la mort coïncide avec un arrêt très rapide des battements normaux du cœur, qui sont remplacés par une trémulation filulaire. La mort est définitive.

Si l'on augmente dans de grandes proportions l'intensité du courant, l'arrêt du cœur arrive d'abord de plus en plus rapidement, au bout de deux à trois secondes pour 0,500 ampère. Puis, pour des valeurs de I d'environ 6 à 8 ampères, chez le chien, l'arrêt du cœur ne se produit plus, et la respiration reprend dès que le courant cesse.

D'autre part, pour ces grandes valeurs de l'intensité, un effet nouveau intervient qui consiste en brûlures graves au contact des électrodes et de la peau, et même à l'intérieur du corps, par suite de la chaleur dégagée par effet foule aux points de plus grande résistance.

Si l'on diminue l'intensité primitivement établie à une valeur de 6 ampères, l'arrêt du cœur se produit immédiatement.

En résumé, le passage du courant alternatif à travers le corps d'un homme ou d'un animal, le cœur étant placé sur le trajet, entraîne en quelques secondes l'arrêt immédiat et définitif du cœur, lorsque l'intensité est comprise entre deux limites qui sont pour le chien 80 à 100 milliamp. d'une part, 6 à 8 ampères d'autre part, et pour l'homme vraisemblablement assez voisines de ces valeurs.

Pour les intensités plus faibles, la mort définitive ne survient qu'au bout d'un temps très long; par as-

phyxie. Pour les intensités dépassant la limite supérieure, la victime ne succombe pas non plus à un arrêt du cœur, mais elle subit des brûlures qui peuvent parfois être mortelles.

L'intensité du courant continu doit atteindre des chiffres quatre fois plus élevés pour produire les mêmes effets. D'autre part, son action sur la respiration est beaucoup moins importante que celle du courant alternatif. Par contre, il présente un danger supplémentaire dû à l'électrolyse, même pour de faibles valeurs de I , quand le temps de passage du courant est suffisamment long.

RÉSISTANCE

La valeur de l'intensité qui passe dans un circuit dépend de deux facteurs : la différence de potentiel à ses bornes, et la résistance qu'il oppose au passage du courant. Ces trois grandeurs, intensité, tension et résistance que l'on désigne habituellement par R sont liées par la relation suivante :

$$I = \frac{E}{R}$$

Cette formule n'est pas toujours applicable. Lorsqu'une source d'électricité débite un courant à haute tension, mais dont l'ampérage est très faible, le sujet qui se trouve interposé sur le circuit aura beau pré-

senter une résistance minime au passage du courant, l'intensité débitée par la source n'augmente pas et le choc électrique n'a pas de conséquences sérieuses. C'est ce qui permet l'usage de plus en plus répandu des inscriptions en tube lumineuses, dont certains modèles de dimensions sont affectés à la signalisation des guichets d'une grande gare parisienne. Ils présentent peu de dangers malgré la tension élevée qui règne entre leurs deux extrémités, étant donné le faible ampérage débité par les transformateurs qui les alimentent.

Un montage électrique spécial permet de comparer la résistance d'un conducteur quelconque et celle d'un conducteur étalonné qui sert d'unité. On appelle ohm cette unité. C'est la résistance offerte à un courant invariable par une colonne de mercure, à la température de la glace fondante, ayant une masse de 14,4521 grammes, une section constante et une longueur de 106,3 centimètres.

Quand on a affaire à un conducteur homogène, la résistance est directement proportionnelle à sa longueur l , et inversement proportionnelle à sa section s . Ce qui s'écrit de la façon suivante:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

ρ étant un coefficient dépendant de la nature du conducteur. On l'appelle résistivité de la substance du conducteur. On est convenu, pour déterminer ce coefficient, d'exprimer R en ohms, en centimètres, s en centimètres carrés. est alors exprimé en ohms-centimètres. C'est en ohm la résistance d'un conducteur cylindrique de la substance considérée, ayant 1 cm. de long et 1 cm² de section.

La résistivité change avec la température. Pour les

métaux et les alliages, elle croît avec cette dernière. Pour les solutions salines, pour les corps médiocres conducteurs comme le charbon, elle décroît, au contraire.

Quand un circuit est formé d'une chaîne de conducteurs différents, la résistance du circuit est égale à la somme des résistances de chacun des conducteurs. Si le mécanicien d'une locomotive électrique monte sur le toit de sa machine et touche avec sa tête la caténaire sous tension, la résistance offerte au passage du courant par le circuit accidentel ainsi bouclé avec la terre est la somme des résistances de la coiffure, de l'accidenté, de son corps, de ses chaussures, de la machine. Naturellement, un corps métallique de la dimension d'une locomotive présente une telle section au passage du courant que sa résistance est négligeable. Ce qui limite l'intensité du courant, c'est la somme des résistances que présentent la coiffure, les chaussures, et enfin le propre corps du sujet.

Jellinek attribue au corps humain les résistances suivantes : du dos de la main à la région antérieure de l'abdomen, 30.000 à 40.000 ohms; de la paume de la main à la plante des pieds, 16.000 à 80.000 ohms, selon les sujets, de la muqueuse buccale à l'anus, 1.000 ohms seulement. Cette baisse doit être attribuée au fait que le courant s'est propagé dans le corps sans traverser la peau. Ce chiffre de 1.000 ohms représenterait donc approximativement la résistance interne globale du corps. Les courants de haute fréquence ont permis d'évaluer la résistance des divers tissus qui le constituent. On classe par ordre décroissant la graisse, l'os, les nerfs, le muscle, et le sang qui présente la plus faible résistance électrique. D'après Kath, la résistance interne du corps serait 500 ohms.

C'est donc la peau qui s'oppose avant tout au passage du courant.

Quand le temps de passage du courant dans le circuit accidentel est court, quand rien vient modifier la tension et la résistance, l'étude des phénomènes électriques auxquels est soumis la victime est assez simple. Pour une différence de potentiel déterminée, l'intensité du courant dépend de la résistance et de la résestivité du revêtement épidermique du sujet.

La résistance varie avec l'épaisseur de la couche cornée: elle peut atteindre 100.000 ohms et plus au niveau de la paume colleuse et sèche d'un ouvrier, ce qui lui permet de toucher impunément des fils à 5.000 volts.

Elle diminue si la surface que présente le contact avec le conducteur sous tension augmente : il est plus dangereux de saisir à pleine main une grosse pièce métallique sous tension que de toucher un fil électrique du bout du doigt.

Pour une même intensité et pour une même surface, la peau peut présenter des résistivités différentes. Le principal facteur diminuant cette résistivité est l'humidité; la peau mouillée voit sa résistance tomber dans des proportions considérables. Zimmern s'est particulièrement étendu sur le risque qui découle du voisinage de l'eau et de l'électricité dans les habitations. La résistance totale du corps humain est suffisante dans les conditions normales pour limiter à quelques milliampères, l'intensité des courants auxquels est soumis l'usager quand il entre en contact avec les tensions des installations domestiques à 110 et même 220 volts. S'il a les mains humides, sa résistance de main à main tombe à 2.000 ohms et l'intensité du courant accidentel qui le traverse est 50 milliampères pour 100 volts. Dans les cas où il est plongé dans une baignoire, la résistance tombe à 750 ohms; le danger commence à partir de 20 volts. Avec les solutions salines, la résistivité de la peau diminue encore dans

de grandes proportions. L'imprégnation de l'épiderme, chez les travailleurs des industries chimiques augmente beaucoup le risque et cet état peut persister plusieurs semaines après la cessation du travail. Kammerer a attiré l'attention sur ce fait, à la suite d'un accident mortel par électrocution dans une usine électrique du Haut-Rhin.

La vascularisation de la peau entre aussi en ligne de compte. La résistance d'une peau riche en capillaires, est faible, puisqu'elle offre au courant des passages innombrables dans un milieu de forte concentration saline. En général, cette vascularisation s'accompagne d'un hyperfonctionnement des glandes sudoripares. La sueur que sécrète ces glandes est riche en sels dissous qui diminuent encore la protection qu'offre le revêtement cutané. Les sujets hyperémotifs qu'on voit rougir et devenir moites à chaque instant se trouvent exposés à des risques beaucoup plus grands que les individus normaux, soumis aux mêmes chocs électriques. Enfin, la transpiration abondante peut imprégner les vêtements, qui constituent alors une électrode large, offrant une grande surface au passage du courant et assurant un excellent contact avec la tension. Elle explique ainsi la gravité de certains accidents. Un ouvrier travaillant à l'intérieur d'une chaudière appuyait son dos couvert de sueur à la paroi métallique, il fut électrocuté au moment où il toucha avec sa main la balladeuse, en mauvais état, qui l'éclairait.

La somme de la résistance interne du corps humain, généralement estimée à 500 ou 1.000 chms, et de la résistance de la peau constitue *la résistance initiale*. C'est la résistance vraie ou chimique. Dès la fermeture du courant accidentel, des phénomènes de polarisation se produisent dans les tissus de l'organisme, engendrant des forces contre-électromotrices qui s'opposent au passage du courant. *La résistance apparente*,

ainsi réalisée, est supérieure à la résistance initiale. Cette augmentation de la *résistance globale* est plus importante pour le courant continu que pour l'alternatif et elle est d'autant plus faible que la fréquence de ce dernier est plus élevée.

« La polarisation doit être due à une accumulation d'ions à la surface des membranes cellulaires vivantes, douées d'une perméabilité tonique très inégale suivant les différents tissus. Cette perméabilité sélective, dont dépend la polarisation, est influencée par le système nerveux probablement « végétatif » (Strohl).

L'intensité de la polarisation varie avec l'emplacement des électrodes, c'est ainsi que la paume de la main a une résistance apparente plus grande que la face dorsale.

Les résistances de la peau et des divers tissus interviennent encore dans les manifestations de l'*effet Joule*. On appelle ainsi le dégagement de chaleur produit dans un conducteur par le passage du courant. Il est directement proportionnel à la résistance, au temps, et au carré de l'intensité, ce qui peut se mettre sous la forme

$$Q = 0,24 R \times I^2 \times t \text{ calories.}$$

0,24 étant un coefficient invariable,

R étant exprimé en ohms,

I étant exprimé en ampères,

t étant exprimé en secondes.

Les points du corps où l'effet se fera le plus senti sont ceux qui présentent le plus de résistance au passage du courant. On aura des brûlures au niveau des tissus de forte résistivité : peau, tendons peu riches

en vaisseaux sanguins. Les endroits où le passage du courant se trouve resserré, seront aussi, particulièrement atteints, puisque, toutes choses égales d'ailleurs, la résistance augmente quand la section des conducteurs diminue.

Dans le cas du cobaye n° 9, nous avons observé des brûlures à l'endroit où la patte était serrée par le lien qui servait à fixer l'animal, les lésions au contact de l'électrode furent moins importantes, la résistance était donc plus grande au niveau de la ligature.

A l'influence de la diminution de section s'ajoute, dans le cas du poignet, celle de la forte résistivité des tissus; la coupe d'une articulation montre qu'elle est exclusivement constituée par de la peau, un peu de graisse, des tendons, du cartilage et de l'os, c'est-à-dire par des tissus de forte résistivité. C'est à cause de cette résistivité particulière des articulations que les genoux, les coudes peuvent être le siège de délabrements considérables malgré les renflements que présentent les membres à leur niveau. L'interligne articulaire doit aussi constituer une surface mauvaise conductrice favorable aux manifestations de l'effet Joule.

Les tissus richement irrigués par le sang, les muscles par exemple, sont plus conducteurs et par conséquent moins touchés; d'autre part, le sang a une capacité calorique voisine de celle de l'eau, et il dissipe une grande partie de la chaleur dans le reste de l'organisme. Au contraire, chaque calorie dégagée dans des tissus compacts, de faible vascularisation, reste sur place et fait monter leur température de plusieurs degrés, puisqu'ils ont une très faible capacité calorique.

L'effet Joule, en élevant modérément la température de la peau, peut déterminer une sudation et par là favoriser le passage du courant. Etant donnée la grande résistivité de l'épiderme, cela n'arrive que pour

des intensités faibles, circulant pendant un temps assez court. Dès que la valeur de l'intensité ou du temps est assez grande, la peau se dessèche et sa résistance croît.

Batelli écrit : « La peau est immédiatement desséchée et carbonisée; il en résulte une augmentation considérable de la résistance ». Il donne à ce fait la démonstration expérimentale suivante : après avoir mis en série une lampe à incandescence et un cadavre d'animal, il lance dans le circuit ainsi formé un courant de 240 volts. La lampe brille d'abord d'un vif éclat et s'éteint après une seconde et demie, parce que la résistance de l'animal a augmenté à la suite des brûlures aux contacts. « Je n'ai pas eu l'occasion de faire des expériences avec un voltage supérieur, ajoute-t-il, mais il est évident qu'avec une tension plus élevée, la carbonisation doit être plus rapide et l'augmentation de résistance plus immédiate. Cette production de brûlures expliquerait l'issue non mortelle des accidents déterminés par les courants à haute tension. »

Besson parle aussi de la carbonisation des tissus « avec dégagement de produits volatils. Il en résulte que ces lésions et cette atmosphère gazeuse opposent une forte barrière au couant; l'organisme qui a reçu une commotion du courant n'entraînant pas la mort par suite de sa brièveté, est ainsi isolé, ce qui permet, sans issue mortelle, la situation d'un organisme exposé pendant un instant à un courant de haute tension. »

L'apparition très rapide de cette atmosphère gazeuse isolante joue peut-être le rôle de la balle de fusil qui établit et coupe très rapidement le courant dans le dispositif expérimental de Weiss, dont il a été donné une description succincte dans l'exposé de la théorie de Guillemot sur l'innocuité de la haute fréquence.

Si l'on prolonge le passage du courant, tout en empêchant l'apparition des brûlures protectrices, on voit diminuer la résistance. Il est particulièrement commode de s'adresser à un lapin, pour réaliser expérimentalement cette condition. Au niveau du carpe et du tarse, leurs pattes sont recouvertes d'une bourre épaisse qu'on imprègne de sérum physiologique; on entoure la patte d'une lame de clinquant formant brassard et on serre le tout avec une pince à dessin à laquelle on fixe le fil apportant la tension. La bourre mouillée constitue une électrode large dont le contact avec la peau est excellent et dont la section et la résistance restent pratiquement constantes.

Les deux pattes étant ainsi préparées, on établit entre elles un courant continu sous une tension de 240 volts; il passe d'abord une intensité d'environ 100 milliampères, elle augmente régulièrement avec le temps et atteint 200 milliampères après cinq minutes de passage du courant (fig. n° 11). Cette diminution de la résistance totale est probablement due à la diminution de la résistivité des solutions salines de l'organisme.

En opérant avec un cobaye dont les pattes sont nues et sans adjonction de sérum, les faits sont assez différents pour une même différence de potentiel. L'intensité initiale est moins forte que dans le cas du lapin (fig. 6), puisque les pattes sont moins humides. Elle monte pendant la première minute, comme pour le lapin, mais au cours de la deuxième minute, apparaissent des beûluees et l'intensité diminue rapidement.

Le fait que le cobaye est mort et que le lapin a survécu n'infirmes pas le rôle protecteur de cette baisse d'intensité; les lapins résistent beaucoup mieux que les cobayes aux effets du courant électrique et en remplaçant le cobaye par un lapin à pattes dépourvues de bourre et de poil, on aurait eu la même baisse de

tension et cet animal aurait été moins éprouvé par le courant.

Quand le courant est très intense, et son temps d'application assez long, l'influence de la brûlure superficielle devient négligeable. Qu'on la laisse se produire ou qu'on l'empêche en réalisant le contact par des électrodes larges imbibées de la solution de chlorure de sodium, la courbe des intensités en fonction du temps revêt la même allure (fig. 8 et 12). Après une période d'augmentation, elle tombe brutalement, cependant que la résistance prend une valeur très grande; les tissus des pattes disparaissent dans l'espace compris entre la peau et l'os qui subsiste seul avec une coque de peau carbonisée dans le cas du cobaye (cobaye n° 8, expérience IV, série II) et une peau macroscopiquement intacte dans le cas du lapin (lapin n° 2, expérience VIII, série II).

L'effet Joule a d'autres répercussions sur l'organisme, que les brûlures. Ce sont des phénomènes vasomoteurs et peut-être des dilatations des liquides de l'organisme sous l'influence de l'augmentation de température. Jellinek avait expliqué ainsi l'hypertension du liquide céphalo-rachidien; il semble d'ailleurs qu'actuellement il ait abandonné cette hypothèse et qu'il rapporte cette hypertension aux réactions vasomotrices déterminées par le choc électrique.

Il ne faut pas confondre les brûlures dues à l'effet Joule et celles que détermine l'apparition d'un arc électrique. Ce phénomène fut découvert au XVIII^e siècle par Humphry Davy. En écartant deux électrodes horizontales en charbon préalablement amenées au contact et réunies aux bornes d'une source électrique, il constata la formation d'un pont lumineux qui prit sous l'action du courant d'air chaud ascendant, une forme convexe et auquel il donna le nom d'arc, conservé depuis. La température atteint

plusieurs milliers de degrés (3.500° au point le plus chaud du charbon positif) et l'atmosphère lumineuse qui constitue l'arc brûle les corps qu'on en approche comme le ferait une flamme. Certains blessés électriques ont été brûlés par cette flamme, sans que le courant ait traversé leur organisme, ce ne sont pas des électrocutés. D'autres sont placés dans des conditions telles qu'un arc jaillit entre leur corps et un conducteur sous tension : ils sont alors soumis au passage du courant, à la brûlure par effet Joule et à la brûlure de l'arc.

*
**

Aux facteurs de variation de l'intensité déjà cités, s'ajoutent l'influence des contacts. Théoriquement, les contacts sont les surfaces séparant les milieux constituant les conducteurs successifs d'un circuit. Dans le cas du circuit accidentel, on devrait entendre par contacts, les espaces virtuels séparant la peau de la victime des différents objets sous tension qu'elle touche. Dans la pratique, ces espaces sont rarement virtuels : des corps très différents peuvent être intercalés dans l'intervalle qui sépare la peau des conducteurs sous tension. Les contacts doivent être considérés comme des éléments du circuit de très faible longueur, par lesquels le sujet est mis en rapport avec la tension. Quand la résistance opposée au passage du courant, par cet élément est faible, ou quand l'espace est réellement virtuel, on dit qu'il y a bon contact; il est dit mauvais dans le cas contraire.

Une paire de chaussures bien sèches, un « bleu » de travail épais, peuvent constituer des mauvais contacts suffisamment résistants pour sauver la vie de leurs propriétaires. On a remarqué, à la compagnie

du Midi la bénignité relative des accidents arrivés aux employés chaussés de bottines à semelle en caoutchouc ou d'espadrilles à semelles de corde, bien sèches, tandis que les chauffeurs de locomotive à vapeur debout sur le charbon mouillé de leurs tenders, les chaussures humides incrustées de poussière bonne conductrice du courant, ont été généralement tués quand ils entraient en contact avec les lignes caténaires à 1.500 volts.

Dans une communication à la Société Française des Electriciens, faite à la séance du 23 novembre 1933, le D^r Uzac, médecin principal à la compagnie des chemins de fer du Midi s'occupe des méthodes à mettre en œuvre pour l'étude des accidents d'électrocution. Il rappelle que la détermination de la tension à laquelle est soumise la victime est beaucoup moins facile à connaître exactement qu'il semble au premier abord. L'intensité est encore plus difficile à déterminer étant donné que l'équation qui en permettrait le calcul,

$$I = \frac{E}{R}$$

comporte au moins deux valeurs inconnues sur ses trois termes : l'intensité et la résistance; il n'est guère possible de lui donner une solution, même approximative.

Les vêtements peuvent peut-être jouer un rôle protecteur, soit en créant de mauvais contacts, soit en se comportant comme des électrodes larges, qui empêchent le courant d'atteindre une forte intensité aux points d'impact, et qui diminuant les réactions locales. La comparaison de deux électrocutions à des tensions très différentes (100 et 1.500 volts) où les sujets

ont présenté des réactions analogues, met remarquablement en évidence le rôle de la conductivité des mains des victimes. « L'agent qui a frôlé durant quelques dixièmes de seconde une gaille de résistance sous tension de 100 volts et qui a présenté des accidents relativement graves quoique passagers, a été accidenté le 1^{er} août, à midi, dans une motrice surchauffée, où la température atteignait jusqu'à 50° centigrades, et d'après notre appareil de sélection, il se place parmi les sujets à grande conductibilité. Inversement, un mécanicien voulant remplacer un fusible sur un circuit de 1.500 volts qu'il supposait interrompu reçoit la pleine charge de sa main droite, sa main gauche étant à la terre par un montant métallique. » Il présente de faibles brûlures aux deux mains (planche)
« Au point de vue général, il eut une réaction légère caractérisée par une obnubilation de quelques secondes et des phénomènes de contractures très passagers. Cet ouvrier était chaussé de semelles en caoutchouc qui ont empêché le retour à la terre par les pieds et l'appareil de sélection le classait parmi les sujets à mains sèches, faiblement conducteur. Dans ce cas aussi, l'interruption du courant fut très rapide, l'homme s'étant affolé, la main crispée, entraînant le fusible arraché de son berceau. » (Obs. XVIII.)

Il semble donc bien que dans la pratique, la résistance de la peau et celle des contacts sont les facteurs les plus importants que présente l'étude du circuit accidentel.

Dans certains cas, l'intensité du courant accidentel est indiqué par des appareils de mesure sur le circuit desquels la victime s'est trouvée placée en série, ou par le fonctionnement d'appareils de sécurité dont le déclenchement s'effectue pour des intensités connues.

Dans le cas de l'observation XV, le déclenchement des disjoncteurs à des distances de 100 kilomètres et

le décrochage des sous-stations placées jusqu'à 250 kilomètres, permet d'estimer à 160 ampères au moins, l'intensité du courant accidentel.

Il ne faut pas en conclure que c'est l'intensité qui a traversé le corps de la victime : l'arc qui a enveloppé la victime en brûlant ses vêtements, présentait au passage du courant une résistance très faible : il a dérivé une très grande partie de l'intensité, de sorte qu'il est difficile d'évaluer même approximativement la valeur qu'elle a pu avoir.

QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ

TRAJET DU COURANT

Les ingénieurs demandent souvent aux médecins quelle est la quantité d'électricité nécessaire pour tuer un homme? Cette grandeur joue parfois un rôle. Dans le cas du sujet isolé qui entre en contact avec une ligne à haute tension et qui se « remplit d'électricité », le passage de la très faible quantité d'électricité nécessaire à le charger ne lui cause aucun effet, si petit soit-il; il est vrai que ce sont là phénomènes d'électricité statique qui se réalisent assez rarement dans la pratique; leur rôle n'est pas important lors de l'électrocution accidentelle. En se plaçant dans le cas habituel, la quantité d'électricité est le produit de l'intensité du courant par le temps qui s'écoule pendant son passage. On l'exprime en coulomb, le coulomb étant la quantité d'électricité débitée par un courant continu de un ampère pendant une seconde.

L'innocuité des courants à très faible intensité prolongés pendant un temps même très long semble bien montrer que la quantité d'électricité est une grandeur dont l'étude doit être remplacée par celle de l'intensité, le temps ne jouant qu'un rôle secondaire. Quand l'intensité n'atteint pas les limites d'efficacité mortelle, il n'y a pas électrocution, quel que soit le nombre de coulombs qui traversent le sujet. Le temps de passage du courant n'intervient que secondairement, par son action sur la résistance du corps qui diminue progressivement.

Le trajet du courant dans l'organisme constitue un facteur de gravité essentiel, « en particulier lorsque le cœur se trouve sur le trajet du courant. Des courants sans gravité sur d'autres régions du corps ont déterminé la mort en passant par le cœur (Prévost et Batelli, Weiss, Asado) » Cot.

Plus important serait pour d'autres auteurs le rôle du contact crânien.

B. — *Facteurs biologiques*

Certains individus se trouvent dans des conditions telles que soumis aux mêmes phénomènes électriques, les uns sont électrocutés et les autres indemnes, sans qu'il soit possible d'expliquer par des facteurs physiques, la protection qui leur a permis d'échapper au danger. Jellinek admet qu'il s'agit d'éléments purement subjectifs. Zimmern parle de facteur psychique.

Il semble en effet que l'attention joue le rôle d'une défense et atténue la nocivité du choc électrique. Un courant auquel on ne s'attend pas est plus dangereux

qu'un courant auquel on s'attend. Ne voulant pas croire la note écrite qui lui confirme la suppression du courant sur une ligne à 10.000 volts, un monteur électricien effleure du bout du doigt, le conducteur. Il présente des brûlures de l'index et du pied qui faisait terre au contact d'un poutre en fer, mais son état général n'est nullement influencé. Il y aurait là une sorte d'inhibition des centres nerveux qui ne dure d'ailleurs qu'un temps limité. C'est au fait que le condamné s'attendait à la secousse qui devait le tuer qu'ont été attribués en partie les insuccès de certaines électrocutions pénales américaines.

La surprise joue un rôle défavorable. On a dit que la peur diminuait l'aptitude du système nerveux à se défendre contre le choc électrique. Il est possible que l'on ait attribué à l'électricité des morts subites occasionnées par la peur chez des hyperémotifs qui ont déjà fait connaissance avec la tension et qui en ont conserve une sorte de terreur instinctive. Jellinek cite le cas d'un ouvrier mort subitement pour cette raison, après avoir touché un câble où ne passait aucun courant.

La faim, la fatigue, l'alcoolisme jouent aussi un rôle indiscutable.

Le sommeil protège de l'accident mortel. Les dormeurs frappés par la foudre se réveillent parfois sans avoir subi d'autres dommages que des brûlures. Deux ouvriers endormis au voisinage d'une ligne de transport électrique à 20.000 volts entrent en contact avec la tension et se réveillent simplement étourdis et légèrement brûlés.

Expérimentalement, des lapins chloroformés supportent parfaitement des courants par lesquels sont foudroyés des témoins non chloroformés.

« Il se pourrait, dit Zimmern que les ohms reprennent ici leurs droits et que ce curieux phénomène com-

porte une explication réellement objective. De nombreux physiologistes ont, en effet, pu mettre en évidence l'élévation de la résistance cutanée pendant le sommeil. L'illustre physiologiste anglais Waller trouva déjà sur lui-même que la résistance du corps au réveil le matin était beaucoup plus grande que la nuit précédente et ses compatriotes Chambers et Farmer, expérimentant sur une série d'étudiants, trouvèrent chez ceux-ci un accroissement moyen de la résistance de 50.000 à 500.000 ohms. Ces résultats ont été confirmés par Richter qui donne pour la résistance de paume à paume 70.000 ohms à l'état de veille et un chiffre double pendant le sommeil. Celui-ci varierait même avec l'intensité du sommeil. Enfin, la narcose chloroformique déterminerait des effets similaires. »

Les troubles basedowiens déterminent une infériorité, surtout à cause de l'état de moiteur habituel qui les accompagne souvent.

Enfin, les troubles fonctionnels du cœur, et la constitution thymo-lymphatique de Paltauf sont des facteurs de gravité de l'accident électrique extrêmement importants, dont il est regrettable que la détermination soit si difficile.

C. — *Facteurs généraux.*

Il est très difficile de dégager des lois de l'étude des statistiques basées sur les observations recueillies sur le réseau des chemins de fer de la compagnie du

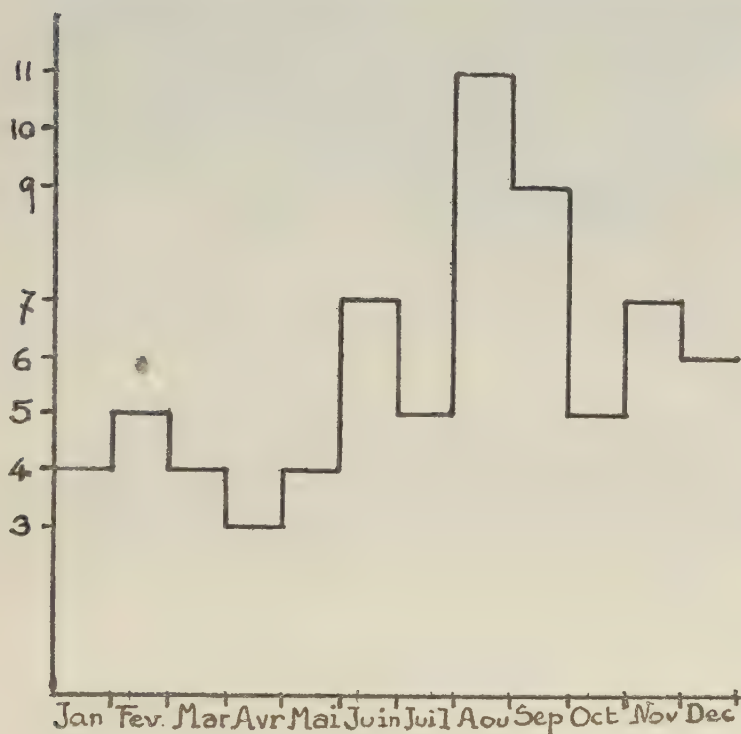


Fig. 3

Midi. Les électrocutions sont trop peu nombreuses pour que le facteur individuel ne joue plus. On remarque néanmoins que c'est surtout à l'occasion des tra-

vaux de réparation et de mise au point des machines que les accidents se sont montrés les plus nombreux. Ce sont donc les dépôts qui doivent être équipés le plus soigneusement au point de vue sauvetage.

Un deuxième point important est la plus grande fréquence des électrocutions durant les mois chauds de l'année (figure 3). Dans les cabines des locomoteurs exposés au soleil, la température atteint parfois 50° centigrades, déterminant une transpiration abondante qui augmente le danger dans des proportions considérables au moment d'un contact accidentel avec la tension.

La courbe qui montre la recrudescence du nombre des accidents aux mois d'août et de septembre est ainsi un argument indirect apporté à l'importance du facteur résistance cutanée de l'individu.

III. — Symptomatologie

Il ne semble pas y avoir lieu de distinguer des symptômes plus particulièrement attachés à telle ou telle forme de courant. La tension, l'intensité du courant ne paraissent pas non plus déterminer de sensations ou de lésions spéciales. Il paraît préférable d'envisager successivement :

Les phénomènes généraux subjectifs et objectifs qui se manifestent pendant le passage du courant, puis ceux qui prennent naissance après sa suppression;

Les symptômes locaux;

Les séquelles et complications qui surviennent fréquemment à la suite des électrocutions n'ayant pas entraîné la mort.

A. — Symptômes généraux

1) SE MANIFESTANT PENDANT LE PASSAGE DU COURANT.

a) *phénomènes subjectifs.*

Les impressions ressenties par les victimes au cours de l'électrocution varient d'un individu à l'autre. La

sensation de secousse brutale paraît être de beaucoup la plus généralement éprouvée. Celle d'un tremblement localisé ou non (obs. VIII) est assez fréquente. Certains sujets parlent de brûlures violentes. D'autres, au contraire, ont des impressions agréables de fraîcheur, de légèreté. Ils se sentent enlevés par un tourbillon. Quelques-uns ont eu des impressions génitales. Plus souvent les électrocutés éprouvent un engourdissement général qu'ils ne peuvent vaincre. Dans le journal d'électricité médicale, Caillaud rapporte un cas d'électrocution par courant de 10.000 volts, au cours de laquelle la victime a eu la sensation d'un corps étranger au « fond des yeux ». Certains rescapés ont parlé de sensations lumineuses, d'éclairs.

Souvent, l'engourdissement s'aggrave d'oppression et de constriction thoracique. On peut avoir au contraire la sensation d'une dilatation forcée de la cage thoracique, avec arrêt de la respiration en inspiration forcée. (Obs. XVII.) Il semble à certains que leurs membres sont encerclés, ligottés (obs. XVIII). Ces sensations sont dues aux contractions et aux tétanisations des groupes musculaires (obs. VIII, XVII). La tétanisation du thorax et des muscles du larynx les empêche parfois de crier, d'appeler au secours.

D'autres fois, ce sont des sensations de choc, à la nuque (obs. XVII), ou à la région précordiale (obs. XIII). Certains ont eu l'impression d'être assommés (obs. III).

La douleur est fréquente, céphalalgie, sensation d'éclatement du crâne (obs. II), rachialgie, névralgie des membres, surtout des mollets. Enfin beaucoup ont éprouvé des douleurs précordiales avec impression d'angoisse, d'arrêt du cœur, ou au contraire de la tachycardie. Il s'ajoute parfois une frayeur intense avec sensation de mort imminente qui peut persister après

l'arrêt du courant, ou même n'apparaître qu'au moment de la reprise de connaissance (obs. XVIII).

6) *Phénomènes objectifs*. — Ils sont assez réduits au moment du passage du courant. Ce sont surtout des mouvements brusques, d'hyperflexion ou d'hypertension entraînant des bonds et surtout des chutes. On observe aussi une pâleur brusque, des mouvements désordonnés des globes oculaires, des contractions des muscles de la face. Les accidentés poussent parfois un cri inarticulé. La perte de connaissance, fréquente, peut manquer, ou passer inaperçue.

2) PHÉNOMÈNES SE MANIFESTANT APRÈS L'ARRÊT DU PASSAGE DU COURANT.

a) *Phénomènes subjectifs*. — Certains sujets n'éprouvent aucune sensation anormale après leur électrocution et peuvent reprendre aussitôt leur service. Dans la grande majorité des cas, la victime ressent une lassitude extrême, un abattement considérable. La céphalalgie peut persister, de même l'oppression. Des sensations de fourmillements apparaissent dans les membres. La brûlure électrique est insensible : nous avons vu, au cours de nos expériences, un lapin et un cobaye marcher et faire effort sur leurs pattes complètement carbonisées pour essayer de s'échapper. Certains sujets se plaignent néanmoins de ressentir une cuisson douloureuse à la main; cette cuisson est généralement arrêtée au poignet par une ligne de démarcation nette, et les points où elle atteint son maximum sont très différents de ceux où siègent les brûlures. Ce sont les extrémités des doigts qui sont les plus douloureuses (obs. XVIII). Certains ont pré-

senté des anesthésies passagères et surtout des parésies (obs. XIII).

On note aussi quelquefois de l'énervement et de l'insomnie dans la nuit qui suit l'accident, insomnie qui peut persister deux ou trois jours (obs. XVIII).

b) Phénomènes objectifs.

Jellinek signale l'hypertension du liquide céphalo-rachidien et l'œdème cérébral. On a noté aussi du mé-téorisme, des troubles sphinctériens déterminant soit de l'incontinence, soit de la rétention.

Les réflexes sont modifiés : les réflexes tendineux ont été abolis pendant 48 heures dans le cas du blessé de l'observation XIV, et les réactions pupillaires lentes; dans d'autres cas, on note de la mydriase.

Quelquefois une agitation se manifeste, violente et immédiate comme le rapporte Caillaud dans son observation de l'ingénieur qui dut subir une double amputation des bras à la suite de brûlures infligées par un courant de 10.000 volts. Elle peut se déclarer après coup (obs. XIV), il faut probablement l'attribuer à la résorption des toxines libérées par le passage du courant qui électrolyse et brûle les tissus. Le système nerveux est peut-être impressionné directement par le choc électrique. Enfin, une terreur inconsciente peut être déterminée par l'accident, et troubler le repos du rescapé. On a noté une aphasie transitoire (obs. XIV).

On observe généralement une pâleur intense, immédiatement après l'accident (obs. XIII, XIV). Dans un nombre assez grand de cas d'électrocution, le visage devient violacé dans les instants qui suivent; ce changement est dû au rétablissement de la circulation, spontané ou non qui ramène à la périphérie le sang asphyxique provenant du système vasculaire profond hyperémié.

L'œdème pulmonaire se manifeste par une spume sanglante (obs. XV); le pouls est ralenti, la pression artérielle plus élevée que normalement.

On a noté parmi les symptômes tardifs une anurie qui peut être définitive ou au contraire (obs. III), une pollakiurie avec polyurie. L'albuminurie (obs. XIV), l'hématurie (obs. XIV et XV) sont relativement fréquentes.

On observe généralement une pâleur intense, immédiate. Quelquefois sanglants (obs. XV), ainsi que l'ictère (obs. III). Ces phénomènes traduisent le mauvais fonctionnement des organes atteints par l'intoxication et les troubles vaso-moteurs.

Le grand symptôme qui se retrouve dans les cas graves d'électrocution est la perte de connaissance appelée par Jellinek, mort apparente. Dans le cas habituel, la victime est immobile, la face cyanosée, les yeux injectés, le choroïde en état de constriction plus ou moins marquée; il existe assez fréquemment au niveau des lèvres et des narines, un peu de spume sanguinolente. On se trouve en présence du tableau habituel de l'asystolie cérébrale et pulmonaire suraiguë qui pour nous caractérise le syndrome asphyxique.

Dans le cas plus rare du type syncopal, il existe également de la perte de connaissance qui peut être plus ou moins complète et aller de la simple lipothymie à l'état syncopal absolu. Ici, le faciès est pâle, on note également de l'indifférence des réflexes, de l'abolition de la respiration, les bruits du cœur sont plus ou moins abolis, le pouls est généralement incomptable, filiforme ou même absent.

Quand l'électrocution détermine la mort réelle, celle-ci peut se présenter sous quatre aspects différents.

1° *Mort immédiate.* — C'est surtout dans cette première variété qu'on trouve le type syncopal. On observe ce type de mort surtout chez les thymo-lymphatiques et les individus en état d'hyposympatricotomie.

2° *Mort retardée.* — Durant quelques secondes et parfois durant quelques minutes, l'électrocuté qui n'a pas perdu connaissance crie, s'agite, et essaie de se dégager. Il semble, pour Jellinek, qui se base sur l'aspect cyanotique des victimes et surtout sur les lésions nécropsiques (hémorragies multiples, œdème cérébral et pulmonaire) qu'il s'agit surtout d'une mort par asphyxie. On peut donner une explication purement électrique de la mort retardée. Si la tension est suffisante, l'intensité qui passe dans le circuit accidentel peut atteindre une valeur élevée : 8 ou 10 ampères. Weiss a montré que la mort ne se produisait pas chez le chien pour les intensités supérieures à 8 ampères. Une baisse de l'intensité ramenant cette dernière entre les limites mortelles de 80 milliampères et de 8 ampères, détermine la mort subite de l'animal. Si l'on admet que les choses se passent de la même façon pour l'homme, sauf variation des valeurs numériques des limites, on conçoit que l'apparition progressive de brûlures profondes fait tomber l'intensité et détermine la mort du sujet.

3° *Mort avec intervalle lucide.* — Beaucoup moins fréquente que ces deux variétés de mort électrique précédentes, il semble qu'on puisse invoquer pour l'expliquer la préexistence d'une lésion cardiaque.

4° *Mort tardive.* — Elle survient après plusieurs heures, probablement à la suite d'une syncope cardiaque.

B. — *Symptômes locaux.* — Ce sont les brûlures qui présentent des caractères particuliers. Jellinek décrit

une lésion électro-spécifique, distincte à son avis de toute autre lésion du point de vue clinique et également du point de vue analomo-pathologique. Pour bien la distinguer des brûlures ordinaires, il lui donne le nom de « marque électrique ».

De forme arrondie, parfois linéaire (fig.), cette dernière présente une surface dure, sèche, sans ulcération ni croûte; ses bords sont surélevés, et paraissent incrustés dans la peau; les téguments du pourtour sont intacts. L'évolution dure plusieurs semaines, au bout desquelles l'escarre tombe et la réparation peut apparaître pour une élévation de température s'effectue par granulations bourgeonnantes.

La marque électrique est due à l'effot Joule; elle très faible. Peut-être, même, se produit-elle à des températures inférieures à 100° par un phénomène analogue à celui qui se passe au niveau du bistouri électrique dont la température est aussi basse, puisqu'il n'est pas stérilisé par le passage du courant, et dont les effets de coupe et de destruction sont cependant très intenses (Walter).

Les brûlures profondes nécrosantes plus fréquentes avec les tensions élevées ne sont pas l'apanage exclusif des courants de haut voltage. Nous avons détruit les parties molles des pattes d'un lapin avec un courant de 240 milliampères sous 240 volts; ce tégument ne paraissait pas atteint de façon importante, comme il arrive souvent dans le cas de brûlures profondes par haute tension, fait que Duhem qualifie de paradoxal; il est pourtant très normal; quand le tégument présente une résistance très faible, l'intensité à laquelle est soumis le membre est grande, les lésions profondes sont importantes. L'effet Joule, qui se localisait aux endroits de grande résistivité et qui brûlait la peau sèche, ne se manifeste plus à son niveau et la marque électrique est peu visible C'est ce qui s'est

passé au niveau de la patte imprégnée de sérum physiologique de notre lapin.

Ces blessures, quand elles n'entraînent pas la chute spontanée du membre, guérissent relativement bien, sans réaction sur l'état général du blessé, très différentes en cela des brûlures thermiques qui mettent en danger la vie de la victime. « Ici il importe que le chirurgien sache que le plus souvent la réparation naturelle offre de sérieux avantages sur l'intervention chirurgicale. Les plaies d'origine électrique sont en général peu douloureuse et n'ont qu'une médiocre tendance à s'infecter. D'autre part, du fait que les tissus sphacelés s'éliminent au plus près sans nuire à la réparation des tissus épargnés, on aura le plus souvent intérêt à se défendre d'une décision hâtive et à laisser à l'évolution naturelle le soin d'accomplir une amputation économique. Valable pour d'autres variétés de brûlures, la sentence chirurgicale : « l'amputation du membre a été reconnue nécessaire » ne se justifie pas, complications électriques exceptées, pour les brûlures électriques profondes.

Il faut toutefois ne pas oublier qu'un arc peut venir « lécher » un sujet au cours de l'électrocution, déterminant une brûlure thermique. Il enflamme même parfois ses vêtements (obs. XV). La victime doit alors être traitée de la même façon que les autres brûlés.

Une autre particularité des brûlures électriques profondes, qu'elles soient accompagnées ou non de brûlure thermique, c'est la lésion des tuniques des artères, entraînant des lésions secondaires après un intervalle de temps de quinze jours à trois semaines. On est souvent conduit dans ce cas à pratiquer des ligatures tardives des artères (obs. III).

C. — *Séquelles.*

Du côté de l'appareil pulmonaire, il peut apparaître des phénomènes de congestion, et même des foyers de pneumonie ou de broncho-pneumonie.

Jellinek a observé deux fois des morts tardives concernant un syndrome d'œdème aigu du poumon en rapport avec une asystolie suraiguë d'ordre cérébral et pulmonaire.

Il existe des complications du côté des yeux : rétinites, conjonctivites, choroïdites. On a même noté l'atrophie du nerf optique.

Les séquelles intéressant les centres nerveux ont été étudiées par Dejerine, Wagner, Jellinek, Zimmern, Chartier, etc. Divers troubles parétiques et amyotrophiques ont été observés. Les paralysies peuvent prendre la forme cérébrale, la forme radiculaire ou la forme périphérique. Chartier a noté l'atrophie musculaire survenue chez un ouvrier atteint au niveau de l'avant-bras droit par un courant continu de 500 volts, quatre mois auparavant; localisée d'abord à l'avant-bras, elle s'étendit à tout le membre, y compris aux muscles de la ceinture scapulo-humérale. La réaction de dégénérescence du muscle était complète.

Weiss et Zimmern ont observé des cas analogues, à la suite de chocs par le courant continu. Il semble que les cas consécutifs aux électrocutions par courant alternatif soient moins graves.

On peut opposer à ces paralysies, les accidents d'ordre fonctionnel, fausses paralysies dont Charcot, en 1889, parlait déjà dans ses leçons sur les accidents nerveux provoqués par la fulguration.

Shiff, Picard et Pouffary ont signalé un cas de psychose hallucinatoire chronique survenu en 1927 chez un sujet électrocuté en 1920 par un courant alternatif de 200 volts ayant agi durant 15 minutes.

L'état antérieur joue un rôle important; il peut faire apparaître les séquelles ou aggraver leur évolution. Le malade de Shiff était un éthylique.

La pathogénie des séquelles réside probablement dans les troubles vasculaires, déterminant des œdèmes, des hémorragies interstitielles ou des ischémies au niveau du tissu nerveux.

IV. — Lésions anatomo-pathologiques présentées par l'électrocuté

Action physiologique des courants électriques sur les tissus

Dans une statistique basée sur les nombreux protocoles d'autopsie qu'il a réunis à Vienne, Jellinek montre que l'on retrouve dans 80 cas d'électrocution sur 100 le tableau anatomo-pathologique de la mort par asphyxie.

Il note la face et les oreilles violacées, les ecchymoses sous-conjonctivales, la trachée et les bronches congestionnées, avec spume sanglante, les poumons congestionnés, quelquefois œdémateux, avec des suffusions sanguines, des noyaux apoplectiformes, les placards d'emphysème sous-pleural, les taches de tardieu. Les méninges et l'appareil cérébrospinal sont hyperémiés, œdémateux, avec zones hémorragiques plus ou moins importantes, le liquide céphalo-rachidien est parfois hémorragique. Le tableau est d'ailleurs souvent beaucoup moins complet, « mais il existe toujours une dilatation du cœur droit et du sinus cave supérieur en rapport avec le syndrome d'asystolie cérébrale et pulmonaire suraigu qui caractérise l'asystolie » (Cot).

Les lésions asphyxiques et les congestions viscérales de l'électrocution sont connues depuis longtemps. Le 6 août 1753, le physicien Richmann, membre de l'Académie Impériale de Saint-Petersbourg fut foudroyé. par

une décharge de l'appareil imaginé par lui pour mesurer l'intensité du fluide électrique soutiré par un paratonnerre aux nuages orageux. Son cadavre fut examiné par « les gens de l'art ». « La partie postérieure du poumon était noirâtre et gorgée de sang ; le duodénum, l'intestin grêle et le pancréas étaient également le siège d'une forte congestion sanguine » (Figuier).

Dans un assez grand nombre de cas on constate des lésions préexistantes : myocardites, néphrites, affections du poumon, de la plèvre, du foie ou de l'appareil digestif.

Un état vagotonique est parfois soupçonné à l'autopsie, mais il est difficile à mettre en évidence sur la table d'autopsie. Il en est de même pour les troubles de l'état dont on ne peut pressentir le déséquilibre sans constater les micro-lésions des glandes à sécrétion interne.

Dans les 20 cas où les protocoles d'autopsie ne signalent aucune lésion, Cot pense qu'il faut incriminer le choc syncopal auquel les sujets ont succombé à son avis. Ce seraient les conditions humorales du sujet qui conditionneraient la syncope d'ordre périphérique, se traduisant par une chasse sanguine vers les viscères abdominaux avec ischémie cérébrale et cardiaque.

Ces cas de mort sans lésions d'asphyxie paraissent être les plus fréquents chez les hyposympatricotoniques hypotendus par insuffisance glandulaire, et chez les sujets présentant la constitution thymolymphatique de Paltauf, avec hypertrophie du thymus, des vaisseaux lymphatiques, des follicules clos, et hypoplasie vasculaire rétrécissement de l'aorte et gros cœur.

Quand on ne trouve rien, il faut incriminer l'arrêt du cœur par contractions fibrillaires incoordonnées (fibrillations ventriculaires) ou par inhibition.

*
* *

Simonin a exposé dans une remarquable monographie les diverses expériences réalisées pour étudier l'action physiologique des courants électriques. Il montre l'action tétanisante du courant alternatif sur les muscles squelettiques et respiratoires, pour les fréquences supérieures à 20 et inférieures à 10.000 périodes par seconde, le continu lui ne donne qu'une contraction permanente avec raccourcissement du muscle durant toute la durée de passage du courant.

Les battements du muscle cardiaque sont accélérés, ou remplacés par une trémulation fibrillaire des ventricules pour des valeurs différentes selon qu'on a affaire au continu et à l'alternatif, ce dernier produisant les mêmes effets pour une intensité quatre fois moindre. Ces fibrillations sont arrêtées et le cœur reprend son rythme normal sous l'influence d'un courant de haute tension. Le chloral, le camphre, l'atropine, la quinine semblent aussi favoriser la cessation des fibrillations. Enfin les hauts voltages peuvent réaliser l'état de contracture rigide du cœur, état qui peut cesser et qui empêche les fibrillations de se produire.

Les vaisseaux sont le siège d'un spasme constricteur, qui fait monter la tension artérielle.

L'action des courants sur le système nerveux est double : ils peuvent produire des effets disruptifs qui détruisent le tissu nerveux. Ils peuvent également réaliser la sidération des principales fonctions de l'organisme par sidération bulbaire avec suppression primitive de la respiration et arrêt secondaire du cœur (théorie de d'Arsonval, reprise par Kratter, mise en doute par Tasum qui montre la possibilité d'électrocuter un animal après section des nerfs pneumo-gastriques).

L'application du courant alternatif de 240 volts sur la moelle lombosacrée d'une grenouille produit une anesthésie et une paralysie d'une durée de 8 à 10 minutes, le sciatique ne redevient excitable qu'après plusieurs heures. Jellinek a constaté souvent une hypertension du liquide céphalo-rachidien, quelquefois des hémorragies méningées. Il a obtenu la sédation de l'état subcomateux, des convulsions toniques et cloniques d'un électrocuté en pratiquant la ponction lombaire.

Simonin rappelle enfin que les tissus vivants se comportent vis-à-vis du courant comme tout conducteur humide auquel les lois de l'électrologie sont applicables. Il parle de l'électrolyse, de l'effet foule, de la polarisation, phénomènes dont il a été parlé plus haut, au paragraphe facteurs physiques de la gravité des accidents.

V. — Théories du mécanisme de la mort par l'électricité

Pendant de nombreuses années, deux théories ont été en présence : la théorie bulbaire et la théorie cardiaque. D'Arsonval, en 1887, avait émis l'hypothèse d'une inhibition des centres bulbaires dont le principal effet était l'arrêt respiratoire, et l'asphyxie, celle-ci toutefois non irréductible. D'où la formule qu'un électrocuté doit être traité comme un noyé.

Les recherches de Tatum sur l'animal mirent en évidence une action paralysante du courant sur le cœur ; Olivier et Bolam découvrirent les trémulations fibrillaires, les auteurs genevois Prévost et Batelli montrèrent que chez le chien, la mort avait pour cause cette modification du rythme cardiaque, notamment au cours d'électrocutions par la basse tension.

Étendus au domaine de la pathologie humaine, ces expériences constituent le fondement de la théorie de l'école de Genève, défendue par Prévost et Batelli et soutenue à nouveau au Congrès de Médecine Légale de langue française de Lyon (juillet 1927) par leurs élèves Naville et de Morsier.

A) Conception de l'École de Genève

Les différents aspects cliniques que revêt la mort électrique dépendent des qualités du courant, de la résistance que lui oppose l'organisme et de la susceptibilité physiologique individuelle.

Il faut distinguer deux modalités de mort :

1^o Mort survenant pendant le passage du courant, soit immédiatement, soit après un temps appréciable de passage du courant ;

2^o Mort se produisant après son interruption.

1^o Quand la mort est immédiate, deux processus peuvent entrer en jeu : le premier exceptionnel entraîne la mort par inhibition directe du centre respiratoire au passage du courant. Cette inhibition nécessite de hauts voltages, de bons contacts et une forte intensité.

Le second, très fréquent détermine l'arrêt du cœur par fibrillation ventriculaire. D'après Simonin elles auraient été enregistrées par Wurtenhort et Riel de Prague. Naville et de Morsier admettent que ces fibrillations succèdent quelquefois à une courte période de tachycardie, de troubles vasomoteurs et d'hypertension viscérale qui explique le tableau asphyxique si souvent rencontré aux autopsies.

| Quand la mort se produit après une durée de passage du courant, inférieure à 2 minutes, elle est due aux fibrillations ventriculaires qui s'établissent quand la résistance a suffisamment baissé pour laisser passer l'intensité qui les déclanche. Si elle se produit après 2 minutes, elle est imputable à la tétanisation du diaphragme ;

2^o Les cas de mort qui se produisent après interruption du courant sont, d'après Naville et de Morsier infiniment plus rares que les précédents. Ils revêtent quatre types distincts :

a) Mort survenant après une très courte rémission, explicable par les trémulations fibrillaires cardiaques ;

b) Mort lente, se produisant après un affaiblissement progressif des contractions malgré la respiration artificielle. Il s'agit d'une lésion latente du péricarde dont le choc électrique (douleur, shock, hypertension) entraîne une décompensation ;

c) Mort brusque tardive, après une rémission de quelques heures à quelques jours. Elle serait due à des lésions cytologiques bulbaires progressives à des embolies solides ou gazeuses ou à des intoxications provenant d'altérations tissulaires par électrolyse, à des spasmes des coronaires, et quelquefois peut-être à la fibrillation ;

d) Mort survenant à l'occasion de la chute ou de la perte de connaissance de l'électrocuté par fracture du crâne, par noyade, par suffocation (aspiration d'aliments dans les bronches).

En résumé, l'École de Genève accorde une importance primordiale à la trémulation fibrillaire des ventricules, et explique la plupart des cas de mort par électrocution.

B) *Conception de l'École de Strasbourg*

Alors que les arguments invoqués par Prévost et Batelli et leurs élèves sont avant tout d'ordre expérimental, la conception de Simonin et de l'École de Strasbourg s'appuie sur un grand nombre d'observations cliniques. Ces dernières ne mentionnant ni l'intensité ni la résistance du circuit accidentel, Simonin est conduit à classer les accidents d'après la tension du courant qui les a provoqués.

1^o *Effets des courants de 5.000 à 50.000 volts*

a) Simonin signale que « le plus souvent les tensions élevées ne sont pas mortelles » et que ces courants sans action durable sur le cœur et sur la respiration déterminent de graves brûlures « sans qu'on puisse dire avec Besson que celles-ci jouent vraiment un rôle protecteur en interrompant le courant ». Il cite trois cas concernant des courants de 10.000 et 12.000 volts pour lesquels les brûlures ont entraîné l'amputation haute des deux bras ;

b) Parmi les accidents mortels, il réserve une place à part aux cas où il y a eu impact cranien et perforation de la substance osseuse. La mort est immédiate ainsi qu'en font foi les 13 cas de la statistique de Boruttau et certaines observations de Reuter et de Baltazard. « Il semble bien que la mort résulte de la sidération des centres nerveux par action directe du courant » tandis que les cas non mortels de contact cranien rapportés par Langer, Luther et d'autres auteurs seraient explicable par ce fait que « le fluide électrique peut frapper la tête et ne pas traverser la calotte cranienne, mais la contourner à travers les tissus superficiels ;

c) Simonin ajoute à ces cas les électrocutions au cours desquelles la mort est survenue sans atteinte des centres nerveux, et entre autre les observations incomplètes de Boruttau comprenant 50 cas d'électrocution par des courants de 5.000 à 15.000 volts. Le mécanisme de la mort peut alors fort bien « être identique à celui réalisé par les courants moins élevés en admettant des variations considérables de la résistance au point de contact ».

2° *Effets des courants de 500 à 400 volts*

On rencontre parmi ces tensions celles qui ont été adoptées par les Américains pour les électrocutions pénales. Dans les conditions spéciales de contact réalisées lors de l'exécution l'intensité du courant correspondant à cette différence de potentiel de 300 à 400 volts est de 1 ampère environ. Le résultat des autopsies des électrocutés judiciaires ou accidentels tués avec cette variété de courants montre que la mort survient généralement sous deux modalités :

a) La forme pulmonaire, de beaucoup la plus fréquente. On constate à l'autopsie le syndrome asphyxique

très complet. Il résulte de la tétanisation persistante des muscles respiratoires. L'action du courant sur les vaso-moteurs et sur les pneumogastriques déterminent une hypertension qui vient compléter ce syndrome pulmonaire asphyxique ;

b) Quant à la forme cardiaque par trémulations de Prévost et Batelli, Simonin met en doute sa réalité chez l'homme.

3° Effets des courants à basse tension

L'intensité est alors voisine de 50 milliampères. Dans la moitié des cas d'électrocution mortelle par la basse tension, Schride trouve de l'œdème pulmonaire à l'autopsie, Jellinek constate le syndrome pulmonaire dans 80 % des cas au moins. Pour Simonin, le syndrome pulmonaire apporte la preuve de la mort par tétanisation des muscles respiratoires en basse tension. La présence de matières alimentaires dans les bronches confirme cette contraction tétanique du diaphragme et des autres muscles respiratoires.

En résumé, pour Simonin, le danger n'est pas au cœur, il est au poumon. C'est exactement la théorie opposée à celle de l'École de Genève.

C) Conception de l'école de Vienne

Le Pr Jellinek fut le premier à soutenir que la mort par électrocution était une mort apparente, et qu'elle était en relation avec des troubles fonctionnels. Il s'agit d'une asphyxie d'ordre respiratoire puisque les manœuvres qui permettent de lutter contre le syndrome pulmonaire de l'asphyxie parviennent souvent à ranimer l'électrocuté. De nombreuses observations dans lesquelles Jellinek note la persistance des battements du cœur après un choc électrique lui font admettre que la

fonction respiratoire s'arrête avant la fonction circulatoire. Cette dernière peut ne plus se manifester, sans avoir cessé (mort apparente), aussi le sauveteur doit-il continuer les manœuvres de réanimation contre tout espoir.

La théorie des trémulations fibrillaires, qui conduit le médecin à abandonner l'électrocuté à son sort lui paraît devoir être condamnée pour cette simple raison. D'ailleurs les trémulations fibrillaires n'existent généralement pas chez l'homme. Lorsqu'elles existent, elles sont passagères, et peut-être ne sont-elles même pas mortelles.

Analysant les 4 variétés de mort : immédiate, retardée, avec intervalle lucide et enfin tardive, Jellinek n'arrive pas à les classer d'après des troubles fonctionnels ou des lésions différentes.

De ses recherches se détache surtout l'importance primordiale du facteur individuel et aussi celui de l'attention et de la surprise. Il admet que la « capacité de frayeur » joue un rôle capital et souligne que le choc électrique entraîne non seulement un passage du courant dans l'organisme, mais aussi une propagation de l'excitation nerveuse dont l'action est très importante.

L'attention atténuée dans une certaine mesure l'effet du courant.

Il appuie enfin sa théorie sur l'ensemble des résultats des autopsies pratiquées depuis de nombreuses années à l'Institut médico-légal de Vienne. Dans 80 cas sur 100 l'électrocuté présente le tableau asphyxique, dans 2 % des cas, l'autopsie est négative. Jellinek est conduit à penser que ces cas mortels surviennent chez des individus qui présentaient des lésions organiques antérieures à l'accident.

« Que l'on considère cette question du point de vue

strictement scientifique ou simplement de façon pratique on doit finalement arriver à admettre que le fait capital dans les phénomènes de l'électrocution réside dans les troubles fonctionnels. Les quelques lésions anatomiques qui peuvent être constatées sont secondaires et consécutives aux troubles fonctionnels primitifs... » (Zimmerm.)

En résumé, la thèse de Jellinek est dans son ensemble semblable à celle de Simonin. Il fait de plus ressortir l'importance du facteur individuel surtout représenté par ce qu'il appelle la « capacité de frayeur ».

D) *Conception de Cot*

Dans son livre sur les asphixies accidentelles, Cot expose une quatrième théorie.

Reprenant les observations publiées par les partisans des Écoles de Genève, de Strasbourg et de Vienne, les complétant par celles qu'il a recueillies lors de son passage au corps des sapeurs-pompiers de la Ville de Paris, il groupe les faits en deux catégories, réunissant dans l'une, les accidents électriques ayant entraîné des manifestations asphyxiques ou circulatoires, chez les victimes, et dans l'autre, les cas de mort électrique sans lésion décelable même à l'autopsie.

Il fait remarquer la constance des modifications de la tension du sang dans le système circulatoire des sujets accidentés ; relevant de la première catégorie, ce fait sur lequel tous les auteurs sont d'accord, lui paraît être dominant : les sensations douloureuses accusées par les rescapés, les céphalées, les rachialgies, les douleurs de la nuque sont pour lui des symptômes de congestion par troubles vasomoteurs. La dyspnée, la sensation de constriction thoracique, avec parfois impossibilité de crier,

témoignent de l'état d'hypertension de la circulation pulmonaire. Les crises convulsives, les vertiges, les bourdonnements sont les manifestations de l'état d'hyperémie et de congestion des méninges et de l'encéphale, que la ponction lombaire permet parfois de mettre en évidence. Les paralysies de type cérébral, radiculaire, ou périphérique, qu'elles soient fonctionnelles ou organiques, découlent des hémorragies méningées ou simplement des troubles œdémateux du système nerveux. Enfin les renseignements apportés par les autopsies, mentionnant, dans la presque totalité des cas l'existence de localisations hémorragiques, confirment la réalité de ce trouble vaso-moteur.

Ce n'est plus un fait secondaire, aggravant l'état asphyxique de la victime, comme l'affirmait Simonin. C'est un phénomène constant, auquel se rattache le mécanisme de la mort électrique, dans la majorité des cas. Le syndrome de l'asphyxie que tous les auteurs admettent depuis d'Arsonval, devient un syndrome d'encombrement vasculaire, d'hyperpression veineuse et capillaire, liée au spasme artériel.

Le rôle joué par le courant est secondaire. Laubry a récemment montré que les cavités droites sont sensibles aux moindres menaces d'asphyxie qui déterminent parfois de véritables dilatations aiguës du cœur droit ; le blocage du faisceau autonome du cœur peut aussi être un phénomène asphyxique. La mort électrique par dilatation et arrêt du cœur relève de l'asphyxie : c'est donc une conséquence des « troubles du cœur périphérique ».

Cette conception explique le rôle de la surprise et de l'état de veille qui aggravent le danger en augmentant la réaction vaso-motrice et celui de l'attention de l'état, de sommeil ou de narcose chloroformique qui l'atténue en diminuant cette même réaction. Les neurotoniques,

les hypersensitifs, les sujets de tempérament thymolymphatique de Paltauf paient un tribut tout spécial à l'accident électrique, parce que leur système vasomoteur est particulièrement sensible : « Le trouble fonctionnel est proportionné à l'état plus ou moins spasmodique du sujet » (Cot).

Mais il est des cas de mort électrique dans lesquels l'autopsie ne signale aucune lésion cardiaque ou asphyxique ; ce sont ceux de la deuxième catégorie.

La généralité des auteurs les explique par la sidération des centres nerveux supérieurs. Cot admet la possibilité de cette pathogénie quand il y a eu contact au niveau du crâne avec perte de substance osseuse et traversée bulbaire ; sinon, d'autres mécanismes doivent être mis en cause.

Dans un petit nombre de cas, au cours desquels le passage d'une faible intensité électrique a peu duré, on observe des lipothymies dues à un spasme artériel avec ralentissement de la circulation cérébrale.

Dans les autres, au cours desquels le contact avec le courant électrique s'est effectué dans des conditions très variables de tension, d'intensité et de durée, et à la suite desquels, la mort a pu affecter les différents types décrits par Jellinek, la gravité de l'accident est en rapport avec un état d'insuffisance endocrinienne. Les autopsies montrent alors une hyperplasie lymphoïde et une hypoplasie du système vasculaire sanguin.

On trouve, entre autres, une aorte congénitalement rétrécie, contrastant avec un cœur gros ; l'hypertrophie du thymus fut relevée par Gunsette et Zimmermann dans tous les cas d'accidents survenus au cours de traitements médicaux électriques. Keating-Hart rappelle des faits analogues observés au cours de la fulguration du thorax et du cou, et Cot rapproche ces constatations de

celles que cite Jellinek à propos de l'autopsie d'un enfant traité pour paralysie brachiale par un courant faradique de 70 à 80 volts : ranimé après une première syncope grâce à la respiration artificielle et à une injection de caféine, il succomba à une deuxième syncope, quelques minutes après, alors que tout danger semblait conjuré. A l'autopsie on ne trouva qu'un cœur gros et des troubles rachitiques, symptômes, faisant partie du tableau clinique de la constitution lymphatique.

Or ces anomalies endocriniennes, régulièrement retrouvées aux autopsies de sujets tués par des courants inoffensifs, chez l'individu normal, coexistent toujours avec un état de déséquilibre vago-sympathique. Cette rupture d'équilibre, due, soit à une hyposympathicotonie, soit à une hypertonie du système antagoniste, se traduit par des effets vagotoniques relevant d'une augmentation de la « différentielle vago-sympathique ».

Cot admet avec Tinel, Sautenoise, et Garellou que ces sujets présentant cette forte différentielle à l'état normal, font des phénomènes de shock à la moindre chute de leur tonus sympathique ; l'accident électrique provoquant cette chute, détermine des phénomènes de shock. Il peut ainsi entraîner la mort par un mécanisme voisin de celui qui joue dans les autres catégories de choc.

VI. — Traitement et préventions de l'accident

A) *Traitement*

La question du sauvetage de l'électrocuté se pose avec une acuité toute particulière quand il est en état de mort apparente.

Si le choc électrique n'a pas déterminé de pertes de connaissance ou si celle-ci a été passagère, le sujet survit, sauf dans les cas de mort avec intervalle lucide ou de mort tardive que Jellinek fut le premier à signaler. Les lésions que présente la victime n'exigent pas une thérapeutique d'urgence. C'est cette dernière qui nous intéresse ici.

Puisque 80 % des électrocutés sont des asphyxiés, il importe avant tout de rétablir la respiration ; dans ce but, on fait appel à des moyens soit manuels, soit mécaniques, soit électriques.

I. — *Méthode sans appareil*

La circulaire du ministère des Travaux publics du 1^{er} octobre 1913 recommande le procédé de Sylvester.

L'asphyxié est étendu sur le dos, le sauveteur genoux à terre, se place derrière sa tête. Il saisit les bras de la victime au niveau des coudes, les amène jusqu'à l'horizontale (1^{er} temps) puis les ramène doucement le long du thorax en comprimant la base (2^e temps). On peut associer la manœuvre de Guillois, un deuxième sauveteur, refoule l'abdomen vers le diaphragme pendant le 2^e temps.

Correctement exécutée au rythme de 15 respirations par seconde, cette méthode est efficace.

Elle est fatigante pour le sauveteur et la position de l'accidenté ne permet pas la bonne évacuation des mucosités.

Le procédé de Laborde comprend des tractions rythmées de la langue : on l'associe au précédent.

Le procédé Schœffer d'origine anglaise est depuis le décret du 23 janvier 1927 le seul préconisé en France. Il est décrit par les affiches apposées dans les postes de secours et dans les installations électriques.

Le sujet est étendu sur le ventre, bras allongés, tête tournée de côté, le sauveteur s'agenouille à cheval sur lui, assis sur les cuisses, tourné vers la tête. Il pose ses mains bien à plat à la base de chaque hémithorax. il pèse sur celle-ci de tout son poids, les bras toujours allongés et étendus. Il reste deux secondes dans cette position, et cesse la pression en redressant le tronc, mais en conservant les mains en contact du thorax.

Il faut exécuter les mouvements au rythme de 15 à 20 par minute. C'est la méthode la meilleure et la plus simple ; il est nécessaire de l'appliquer pendant 2 ou 3 heures au moins.

II. — *Les appareils à respiration artificielle*

Le premier fut celui du Dr Panis. Il comprend un support métallique, rectangulaire en plan incliné, sur lequel on pose la victime en décubitus ventral. Une large sangle fixe la base du thorax, un jeu de leviers permet de comprimer progressivement le thorax en effaçant les épaules et en étalant le buste ; l'effort des ressorts et de l'élasticité thoracique produit un mouvement inverse, il suffit de manœuvrer un levier pour faire marcher l'appareil.

L'appareil de Chéron comprend des épaulières fixes ; la sangle est élastique, au milieu du plan incliné, un plateau central mobile s'élève et s'abaisse ; le but poursuivi est d'effectuer la respiration au moyen de pressions et de décompressions successives exercées sur la paroi abdominale.

L'appareil de Cot comprend deux mains artificielles qui compriment transversalement la base du thorax et un ballon pneumatique qui refoule uniquement la paroi abdominale. La ceinture est rigide ; un mécanisme ingénieux permet de faire basculer les sujets, la tête en bas, ce qui est indiqué dans le cas des syncopes blanches.

L'appareil de Drunker et Shaw permet de faire de la respiration artificielle pendant plusieurs semaines, le patient, est enfermé dans une chambre étanche où se succèdent des périodes de compression et de décompression ; seule la tête se trouve en dehors.

Signalons dans le traitement des asphyxiés la faradisation du nerf phrénique des muscles pectoraux et l'actinothérapie.

Les procédés mécaniques tentent de remplacer les mouvements respiratoires spontanés abolis ; on a cherché à faire pénétrer directement dans l'organisme l'oxygène nécessaire à la vie des tissus.

On a essayé les inhalations d'oxygène pur sans pression, en utilisant l'oxygène naissant provenant de la décomposition de l'eau oxygénée par des comprimés de chaux.

Rosenthal, introduit directement ce gaz dans la trachée au moyen d'une trachéo-fistulisation temporaire ou permanente.

Le masque de Legendre et Nicloux permet l'inhalation d'oxygène à dose massive. Les inhalations sous

pressions à l'aide du pulmotor Draeger ou du pulmotor rythmeur de Brücker, ou en pneumoventilateur de Jean Camus Pikelly sont des procédés d'exception.

Yandell et Hendersen ont étudié l'action stimulante et régulatrice sur la fonction respiratoire du carbogène (oxygène $\times$ 4 à 5 % de O_2). La Société Oxydrique française livre maintenant des obus de carbogène.

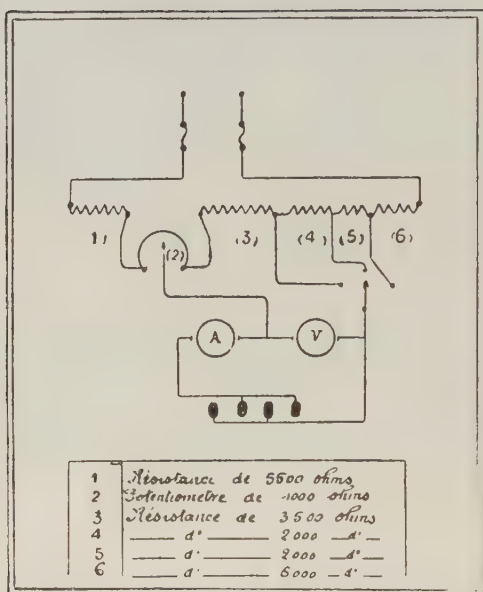
L'oxygénothorépie peut être utile surtout dans les cas d'œdème pulmonaire ; on peut la faire, soit par voie sous-cutanée, soit par voie sanguine ; dans ce cas il ne faut pas dépasser 8 à 9 cm³ à la minute ; une méthode plus élégante consiste, dans l'autotransfusion après réoxygénation sanguine.

*
* *

La ponction lombaire permet de lutter contre la compression bulbaire due à l'hypertension, contre les phénomènes d'hémorragie méningée, en outre elle provoquerait l'excitation du centre respiratoire. Le réchauffement du bulbe est à recommander.

La lobéline, par voie sous-cutanée ou sous-arachnoïdienne a la propriété d'exciter le centre respiratoire bulbaire qui en augmentant la fréquence des mouvements respiratoires agit sur le volume et la puissance de la ventilation pulmonaire. Cette excitation est passagère, il est nécessaire de l'entretenir par une inhalation de carbogène.

La saignée en raison de son action sur les spasmes vasculaires, et la stase veineuse dans le domaine de la circulation des centres nerveux et de l'appareil pulmonaire est un agent thérapeutique de premier ordre. C'est la phlébotomie qui facilite le travail du myocarde. Cot a insisté sur les dilatations du cœur droit chez les



électrocutés, il importe de lever le barrage périphérique. Jellinek conseille d'arrêter la respiration artificielle pendant la saignée, sous peine d'embolie gazeuse, cet accident se produit surtout avec la méthode de Sylvester.

Cette asystolie aiguë signalée dans les électrocutions : caféine, spartéine, éther, l'huile camphrée à doses chirurgicales (10 à 20 cm³) et même en injection intraveineuse (méthode de Le Moignic) et la coramine.

Il faut réserver l'adrénaline pour les cas de syncope blanche.

B) *Prévention*

M. le médecin général Uzac, médecin principal de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, a présenté à la Société française des Électriciens un rapport où il étudie la prévention des accidents par électrocution et envisage trois sortes de propositions :

1^o Il est intéressant de tirer de chaque accident, les conclusions et l'enseignement qu'il comporte. Dans chaque arrondissement du réseau du Midi, tout sinistre fait l'objet d'une enquête : on note les conditions matérielles, les observations des témoins et les troubles physiologiques de la victime ; les faits sont examinés par une commission mixte formée de médecins et d'ingénieurs. Les conclusions permettent de modifier certains matériels, certains appareils protecteurs et de recommander les meilleurs moyens de sauvetage ;

2^o Il est évident que le personnel doit être instruit du danger électrique auquel il est perpétuellement exposé ; cet enseignement est actuellement fait par les agents des cadres, les ingénieurs dirigeants et les médecins. Le personnel doit être capable de pratiquer la respiration artificielle ; des exercices pratiques sont prévus dans l'enseignement professionnel. On tend à répandre

dans certains groupements, postes de transformations et sous-stations électriques, les appareils à respiration artificielle mécanique et à carbogène ;

3° Le facteur capital est la sélection du personnel il faut éliminer les sujets trop sensibles au courant électrique.

Dans les examens d'aptitude au service électrique, on note l'état d'humidité des mains. Grâce à un appareil spécial construit après quelques essais concluants avec un montage bricolé par le chef d'équipe Lardy, on peut rapporter à un test physique la conductibilité superficielle de la main.

L'appareil se compose d'un réducteur de potentiel ramenant la tension à 20, 30 et 40 volts sur un circuit muni d'un voltmètre et d'un ampèremètre gradué en dixième de milliampère. La coupure du circuit est réalisée par 4 plots unis deux à deux aux extrémités des conducteurs ; ces plots ont une surface de 250 mm² chacun et sont disposés en parallèles, déterminant entre eux trois intervalles de 3 $\frac{m}{m}$ d'écartement.

La main examinée est placée, face palmaire en haut, dans une sorte de mâchoire dont la branche supérieure où sont inclus les plots, appuie au niveau des plis digitopalmaires suivant une pression toujours égale que déterminent deux poids agissant par l'intermédiaire de leviers coudés.

La conductibilité du revêtement cutané dépend de nombreux facteurs ; seule la résultante est intéressante.

Avec cet appareil, on examine les mains du sujet après essuyage, puis après un exercice consistant en des mouvements d'élévation du bras soulevant une haltère de 5 kilogrammes

On détermine ainsi les chiffres de la conductibilité au repos, puis après accomplissement d'un travail, et

enfin leur différence. On classe les sujets d'après le 1^{er} chiffre trouvé en :

Sujets à faible conductibilité ;

Sujets à conductibilité moyenne ;

Sujets à grande conductibilité.

Les deux autres chiffres trouvés pour chaque sujet adulte ne le fait pas changer de catégorie. Ceux qui appartiennent à la dernière ont toujours les mains moites et humides. Les résultats observés chez les adolescents sont moins réguliers, et le nombre des cas de conductibilité moyenne est relativement plus important.

Il faut également tenter de dépister les principales lésions organiques et certains états constitutionnels créant une susceptibilité particulière au courant, comme le Basedowisme, l'hypersympathicotomie et l'état lymphaticothymique de Paltauf.

On peut enfin renforcer les défenses que les individus sélectionnés présentent au courant du fait de la faible conductibilité de leur peau, en leur adjoignant un revêtement tout à fait isolant.

La lecture des observations II, V, XIII, XIV, XVII, XVIII, montre l'heureuse influence de l'interposition de semelles isolantes dans le circuit accidentel. Des bottes courtes en caoutchouc seraient encore plus efficaces.

La protection des mains n'est pas moins intéressante. Les accidentés dont les observations III, IV, VII, VIII, IX, X, XII, XIII, XV, XVIII, rapportent le cas effectuaient, pour la plupart, des gestes simples, n'exigeant une grande dextérité ni des mains, ni surtout des doigts. Il conviendrait de faire porter aux agents une paire de gants épais et isolants qui suffirait dans bien des cas à éviter l'accident. Pour que l'agent ne soit pas tenté de les enlever, ou sera peut-être conduit à modifier

le détail de quelques dispositifs mécaniques, afin de rendre leur manœuvre plus facile pour des mains embarrassées de gros gants. Il ne doit pas y avoir là de difficulté sérieuse.

Le point d'impact crânien observé dans 3 cas a coïncidé 2 fois avec des désordres graves (obs. II, XI, XIV). Un serre-tête isolant, analogue aux coiffures des aviateurs ou des motocyclistes sauverait certainement des vies humaines, mais il faudra vraisemblablement une assez longue période de mise au point avant qu'on réalise des coiffures assez confortables pour que les agents ne les enlèvent pas en dépit des règlements qu'on tentera de leur imposer à ce sujet.

On pourrait aussi étudier des combinaisons en tissus suffisamment épais pour présenter des qualités protectrices vis-à-vis du courant. Il est évident que le point délicat sera d'obtenir une ventilation suffisante du corps pour éviter toute transpiration pénible et même dangereuse pour le sujet qui se débraillera pour avoir moins chaud et qui se trouvera placé dans les conditions les plus favorables à un accident grave.

Au lieu d'empêcher le courant de passer, on peut le dériver dans un circuit moins résistant que le sujet « placé en parallèle » sur celui-ci. Le Pr Artemiev de Kiew expérimenta, quelques années avant la guerre, une sorte de combinaison coupée dans un treillage métallique très fin, avec laquelle il put entrer sans danger en contact avec des lignes de haute tension.

Ce dispositif présente un grave danger : il suffit que diminue la résistance globale du corps du sujet revêtu de cette combinaison, pour que la valeur de l'intensité du courant qui le traverse augmente d'une quantité inversement proportionnelle.

Les électriciens estiment en général que le risque de

la voir atteindre les valeurs mortelles est assez grand pour qu'on rejette cette méthode.

Néanmoins, les égoutiers de certaines grandes villes allemandes sont munis de bottes en amiante et métal, destinées à mettre à la terre les conducteurs électriques avec lesquels ils peuvent accidentellement entrer en contact dans les galeries où ils travaillent.

DEUXIÈME PARTIE

I. — Recherches expérimentales

A) Description du dispositif employé

Nous nous sommes servis du courant à 1.500 volts pour électrocuter nos animaux. La première question qui s'est posée avec une tension aussi élevée a été d'assurer la sécurité des expérimentateurs.

Avec M. l'ingénieur Veques qui voulut bien diriger nos expériences au point de vue technique, nous nous sommes adressés au montage dont on trouve le schéma figure 4.

Le circuit sur lequel l'animal est placé en série, comporte les appareils suivants :

Un interrupteur général, permettant d'isoler l'ensemble du circuit, et dont la manœuvre s'effectue au moyen d'une perche de bois sec, longue de 3 mètres environ.

Un contacteur, interrupteur automatique qu'on actionne à distance au moyen d'un deuxième interrupteur fonctionnant sur un courant de basse tension.

Un résistance à prises multiples permettant de faire varier la différence de potentiel à laquelle est soumis l'animal en expérience.

Un voltmètre placé en dérivation et gradué en volts permet de déterminer celle-ci par lecture directe.

Enfin un ampèremètre placé en série donne le chiffre

des milliampères qui traversent le circuit expérimental.

L'animal est fixé sur une plaque de matière isolante montée sur 4 isolateurs et munie de 2 écrous à oreilles

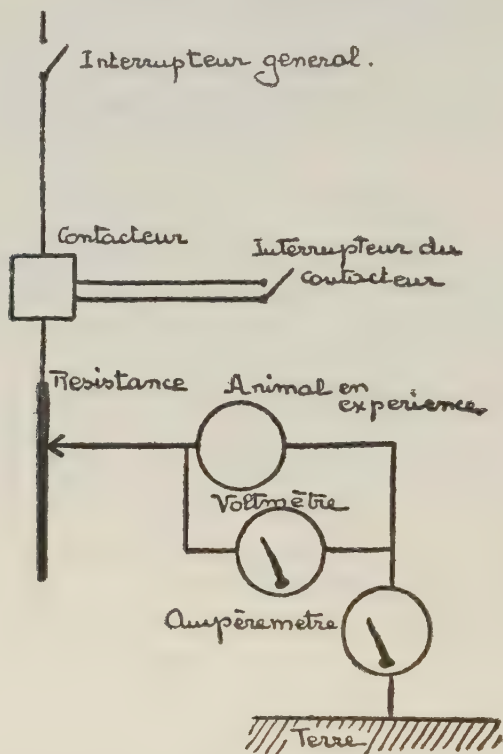


FIG. 4

auxquels aboutissent le fil d'amenée de la tension et le fil de terre (fig. 5).

Chaque contact est réalisé par une lame de clinquant, large de 1 $\frac{\text{cm}}{\text{m}}$ pour les cobayes et de 3 $\frac{\text{cm}}{\text{m}}$ pour les lapins.

On enroule cette lame autour de la patte de l'animal et on la serre entre les mors d'une pince à dessin.

La force qui tend à rapprocher les mâchoires de ces pinces est de l'ordre du kilogramme.

Nous nous sommes simplement servi d'eau salée

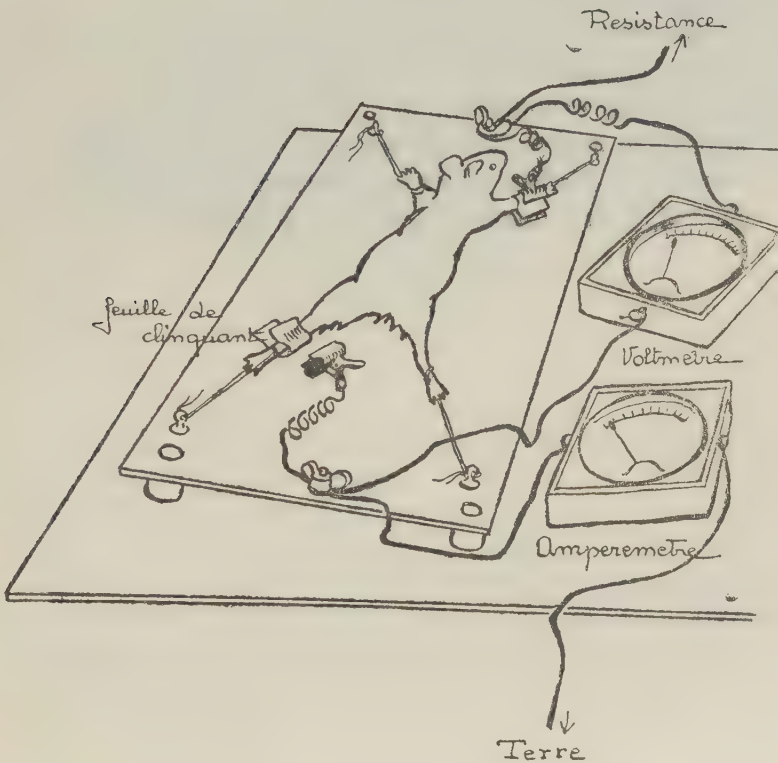


FIG. 5

à 7 ‰ quand nous avons voulu améliorer les contacts.

La manœuvre du dispositif pour chaque électro-cution est la suivante :

On fait choix d'une tension sur l'une des frises repérées de la résistance.

Après avoir attaché l'animal à la plaque isolante et

après avoir assujetti les feuilles de clinquant servant de contact au moyen des pinces en rapport avec le circuit, on abaisse une barrière surtout destinée à rappeler aux expérimentateurs le danger qu'un geste irréfléchi pourrait présenter.

On ferme l'interrupteur général au moyen de sa perche de manœuvre. On lance la tension à travers l'animal en enclanchant le contacteur. On fait cesser le passage du courant dès qu'on le déclanche, mais on ne passe la barrière qu'après ouverture de l'interrupteur général, pour laquelle on fait encore usage de la perche.

B. — Compte rendu de nos expériences.

EXPÉRIENCE I

Cobaye n° 1. — Les contacts sont placés sur la patte avant gauche et sur la patte arrière droite.

$E = 1500$ volts.

$I = 150$ milliampères.

$R = 10000$ ohms.

$t = 0,5$ seconde.

Après avoir présenté une forte secousse musculaire au moment du passage du courant, l'animal s'immobilise en hyperextension. Il ne crie pas.

Deuxième secousse musculaire au moment de l'ouverture du circuit, l'hyperextension cesse. L'animal présente des mouvements qui paraissent d'abord normaux puis deviennent plus rares et plus convulsifs. On constate une abondante émission d'urine. Le Cobaye présente des phénomènes de hoquet s'accompagnant de mouvements extrêmement violents de flexion et d'extension du tronc, et à plusieurs reprises il a des phénomènes convulsifs des pattes arrière.

Les battements du cœur ne sont plus perceptibles depuis longtemps, et, malgré la respiration artificielle, l'animal meurt sans qu'on puisse déterminer le moment où la mort, d'apparente, est devenue réelle.

AUTOPSIE. — Pas de brûlures électriques. Cyanose prononcée au niveau du museau.

A l'ouverture de l'animal : Sang asphyxique, extrêmement fluide.

Poumon : Congestion œdémateuse.

Foie : Rien à signaler.

Intestin : Météorisme considérable. La paroi musculaire s'est laissé distendre et l'intestin présente plusieurs fuseaux transparents pleins de gaz d'un diamètre quatre fois plus grand que le calibre normal, et d'une longueur variant entre 3 et 6 centimètres. C'est le seul cas d'électrocution où nous l'ayons rencontré.

Rein : Congestion.

Encéphale : Congestion très légère.

EXPÉRIENCE II

Cobaye n° 2. — Même disposition des contacts que pour le précédent.

$E = 1000$ volts.

$I = 280$ milliampères.

$R = 3929$ ohms.

$t = 0,5$ seconde.

L'animal présente les mêmes symptômes au passage du courant que le Cobaye n° 1, mais il survit, et ne paraît pas incommodé.

EXPÉRIENCE III

Cobaye n° 3. — Un contact au niveau du crâne (pince sur les oreilles), l'autre à la patte arrière gauche. On a mouillé la tête avec de l'eau salée.

$E = 1000$ volts.

$I = 400$ ampères.

$R = 2500$ ohms.

$t = 0,5$ seconde.

Secousses musculaires et hyperextension. Après le passage du courant, l'animal ne remue plus. Puis il présente quelques hoquets, et à deux reprises des convulsions du train postérieur. Abondante émission d'urine au moment de la dernière crise convulsive.

AUTOPSIE. — Pas de brûlures, cyanose.

A l'ouverture de l'animal : aspect asphyxique du sang (fluide et noir).

Poumon : Congestion œdémateuse considérable.

Foie : Congestion extrêmement marquée.

Rein : Peu congestionné, presque normal.

Encéphale : Congestion diffuse sans foyer hémorragique macroscopique intracérébral.

EXPÉRIENCE IV

Cobaye n° 4. — Même disposition des électrodes que dans l'expérience III, mais suppression de l'eau salée.

$E = 550$ volts.

$I = 140$ milliampères.

$R = 3929$ ohms.

$t = 0,5$ seconde.

Secousses musculaires et hyperextension. Ce Cobaye pousse de plus des cris aigus après l'interruption du courant, et il survit.

EXPÉRIENCE V

Cobaye n° 2. — Même disposition des électrodes que dans le cas précédent.

$E = 1000$ volts.

$I = 800$ milliampères.

$R = 1250$ ohms.

La violence des réactions musculaires est très grande. Le thorax de l'animal se dilate, et la respiration s'arrête en inspiration forcée par tétanisation des muscles de la paroi et probablement du diaphragme. Après ouverture du circuit, la respiration reprend, désordonnée, et on observe de l'arythmie cardiaque à la palpation. L'animal survit, mais sa patte arrière gauche est parésinée.

EXPÉRIENCE VI

Cobaye n° 4. — Même disposition des contacts.

$E = 550$ volts.

$I = 180$ milliampères.

$R = 3055$ ohms.

$t = 0,5$ seconde.

L'animal présente les mêmes réactions que celles qu'il avait eues au moment de l'expérience IV.

EXPÉRIENCE VII

Cobaye n° 4. — Même disposition des contacts.

$E = 1000$ volts.

$I = 350$ milliampères.

$R = 2857$ ohms.

$t = 0,5$ seconde.

Il meurt en présentant les mêmes symptômes que le Cobaye n° 3 (Exp. III).

AUTOPSIE. — Pas de brûlures, cyanose.

A l'ouverture de l'animal :

Poumon : Congestion peu marquée, peu d'œdème.

Foie : Rien à signaler.

Rein : Très peu congestionné.

Encéphale : Congestion diffuse sans foyer hémorragique intracérébral.

EXPÉRIENCE VIII

Cobaye n° 2. — Même disposition des contacts.

E = 1500 volts.

I = 840 ampères.

R = 1786 ohms.

En plus des phénomènes habituels, on note l'allumage d'un arc électrique au niveau des contacts, en particulier au niveau de l'oreille qui est amputée. L'hyperextension est particulièrement violente. L'animal se tend comme un arc. Il meurt très peu de temps après l'arrêt du courant.

AUTOPSIE. — Marques électriques, cyanose.

A l'ouverture du corps : Sang extrêmement fluide.

Poumon : Congestion œdémateuse.

Foie : Congestion.

Rein : Congestion.

Encéphale : Congestion diffuse sans foyer hémorragique macroscopique intracérébral.

Un Cobaye tué par un choc rétrobulbaire nous a servi de témoin. Il ne présentait aucune des lésions relevées sur les animaux victimes d'électrocution. Entre autres, il n'y avait aucune congestion au niveau de l'encéphale et du bulbe, malgré le traumatisme et l'hémorragie bulbaire.

EXPÉRIENCE IX

Cobaye n° 5. — Les électrodes sont appliquées à la patte avant droite et à la patte arrière gauche.

E = 220 volts.

I = 80 milliampères.

R = 2750 ohms.

Ce Cobaye présente les mêmes réactions, à l'ouverture et à la fermeture, que les animaux des premières expériences. Il est beaucoup moins tétanisé, mais il ne peut guère remuer pendant le passage du courant. Il survit.

Aucune brûlure aux pattes.

EXPÉRIENCE X (fig. 6)

Cobaye n° 6. — Les contacts sont appliqués à la patte avant droite et à la patte arrière gauche.

E volts	I milliampères	T secondes	R ohms
220	50	0	4444
»	60	50	3666
»	70	1'5"	3143
»	80	1'15"	2777
»	90	1'30"	2444
»	80	1'50"	2777
»	40	2'	5500
»	20	2'15"	11000
»	20	3'	

On arrête le courant après la mort apparente du Cobaye qui succombe à la troisième minute.

AUTOPSIE. — Cyanose des narines.

Localement : Lésions de brûlure à la patte arrière gauche; face antérieure, eschare noirâtre; face postérieure, coloration rouge violacé intense.

Lésions de brûlure plus légères à la patte avant droite; coloration noirâtre de la peau à la face antérieure et à la face postérieure.

A l'ouverture de la paroi thoraco-abdominale : Sang fluide.

Poumons : Légèrement congestionnés, avec un peu d'œdème pulmonaire.

Reins : Très congestionnés.

Cerveau : Congestionné.

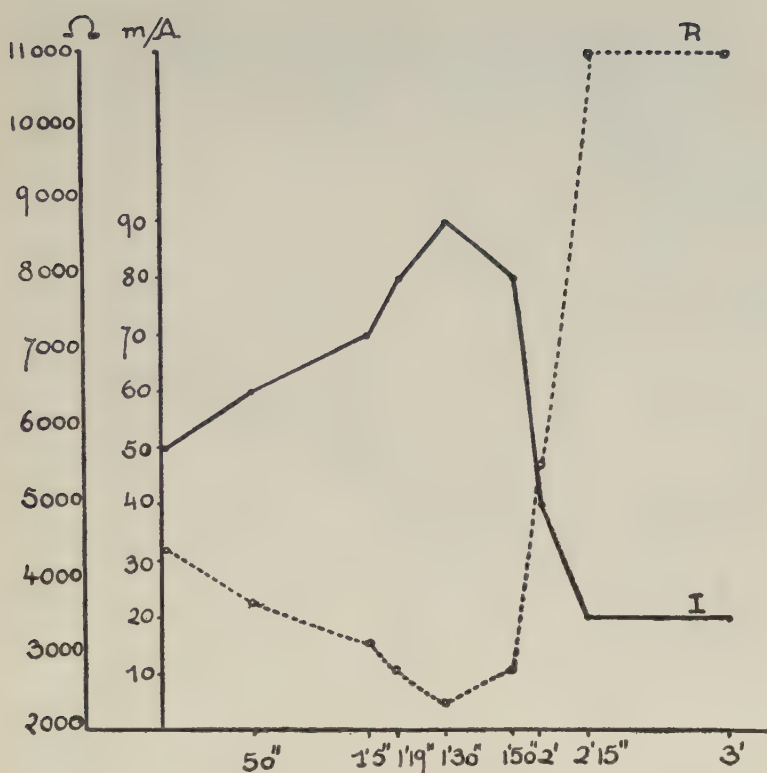


FIG. 6. — Exp. X (Cobaye n° 6).

EXPÉRIENCE XI (fig. 7)

Cobaye n° 7. — Même disposition des électrodes.

E volts	I milliampères	T secondes	R ohms
220	50	0	4400
»	60	30	3666
»	70	45	3143
»	80	1'15"	2777
»	80	1'30"	2777

On arrête le courant au moment où l'intensité cesse de croître. Le Cobaye survit, mais il est très cyanosé.

Lésions locales : Patte arrière gauche, plusieurs eschares

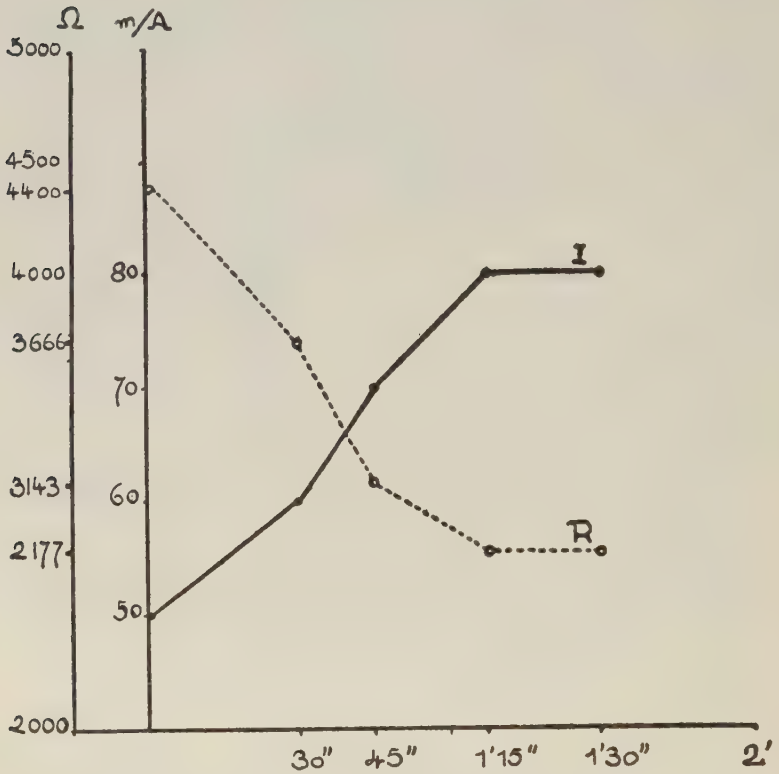


FIG. 7. — Exp. XI (Cobaye n° 7).

profondes sur les faces antérieure, postérieure et externe.

Patte avant droite, eschares moins importantes sur les faces antérieure et postérieure.

EXPÉRIENCE XII (fig. 8)

Cobaye n° 8. — Même disposition des contacts.

E volts	I milliampères	T secondes	R ohms
400-420	200	0	2000
»	240	15	1666
»	30	30	13333
»	20	50	20000

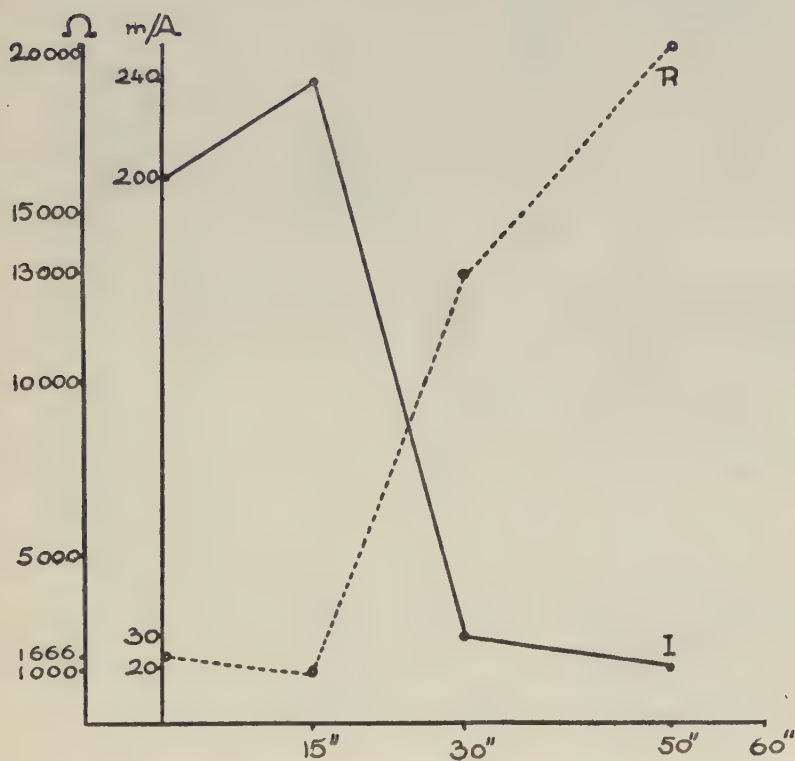


FIG. 8. — Exp. XII (Cobaye n° 8).

On arrête le courant au moment où l'intensité a fini de décroître. Le Cobaye survit, mais présente de la cyanose.

Lésions locales : Patte avant droite brûlée largement à la face externe, eschare très profonde. Patte arrière gauche, brûlure plus légère, début d'eschare, cette patte est légèrement raide.

EXPÉRIENCE XIII (fig. 9)

Cobaye n° 9. — Même disposition des électrodes.

E volts	I milliampères	T secondes	R ohms
420	350	0	1200
»	350	5	1200
»	400	12	1050
»	10	15	42000
»	5	1'	84000
»	10	1' + ϵ	42000
»	10	2'20" — ϵ	4200
»	5	2'20"	84000
»	mort	2'30"	

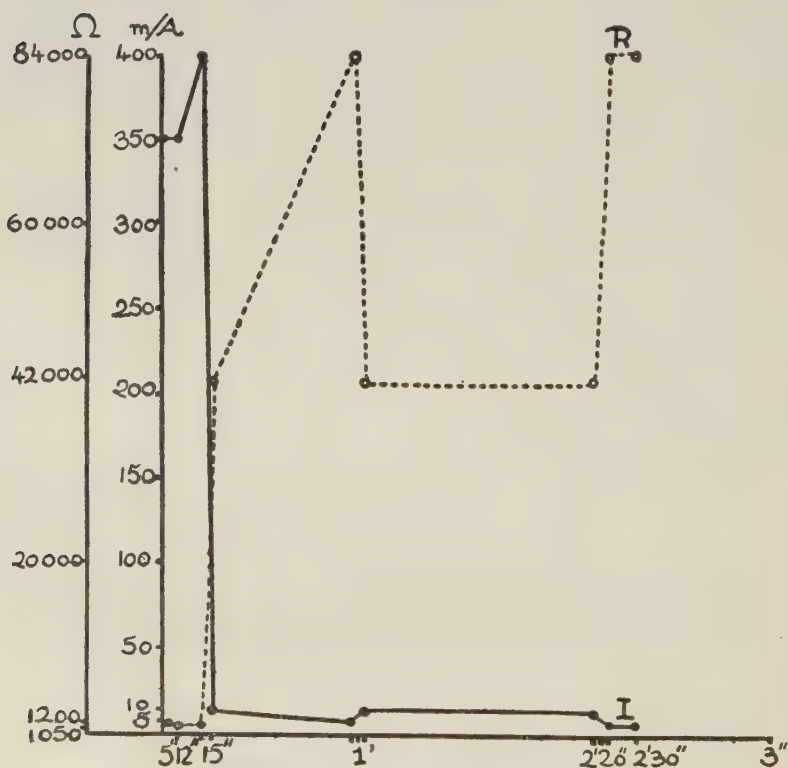


FIG. 9. — Exp. XIII (Cobaye n° 9).

On arrête le courant au moment de la mort apparente du Cobaye, qui succombe au bout de 2 minutes 30 secondes.

AUTOPSIE. — Cyanose des narines.

Localement : Lésions à la patte arrière gauche. Face antérieure, petite eschare. Face postérieure, coloration rouge violacé intense avec phlyctène. Au-dessus du talon, à l'endroit de l'attache, les téguments ont disparu, il ne reste plus que l'os qui est à nu.

Lésions patte antérieure droite. Très légères traces de brûlure.

A l'ouverture de la paroi thoraco-abdominale : Sang fluide.

Poumons : Un peu congestionnés, surtout aux lobes inférieurs, avec des ecchymoses sous-pleurales dans les divers lobes.

Reins : Très congestionnés (on en prélève un fragment).

Foie : Moyennement congestionné.

EXPÉRIENCE XIV (fig. 10)

Cobaye n° 10. — Même disposition des électrodes.

E volts	I milliampères	T secondes	R ohms
—	—	—	—
440	300	0	1466
»	300	2	1466
»	230	10	1913
»	80	18	5500

On arrête le courant au moment de la mort apparente du Cobaye qui succombe au bout de 18 secondes.

AUTOPSIE. — Cyanose des narines.

Localement : Patte arrière droite. Petite eschare à la face antérieure, raideur légère.

Patte gauche antérieure. Très larges brûlures sur les faces antérieure, postérieure et latérales. Les téguments ont disparu et on aperçoit par places les tendons et les os.

A l'ouverture de la paroi thoraco-abdominale : Sang fluide.

Poumons : Très nettement congestionnés. Léger œdème pulmonaire.

Reins : Très congestionnés.

Foie : Très congestionné.

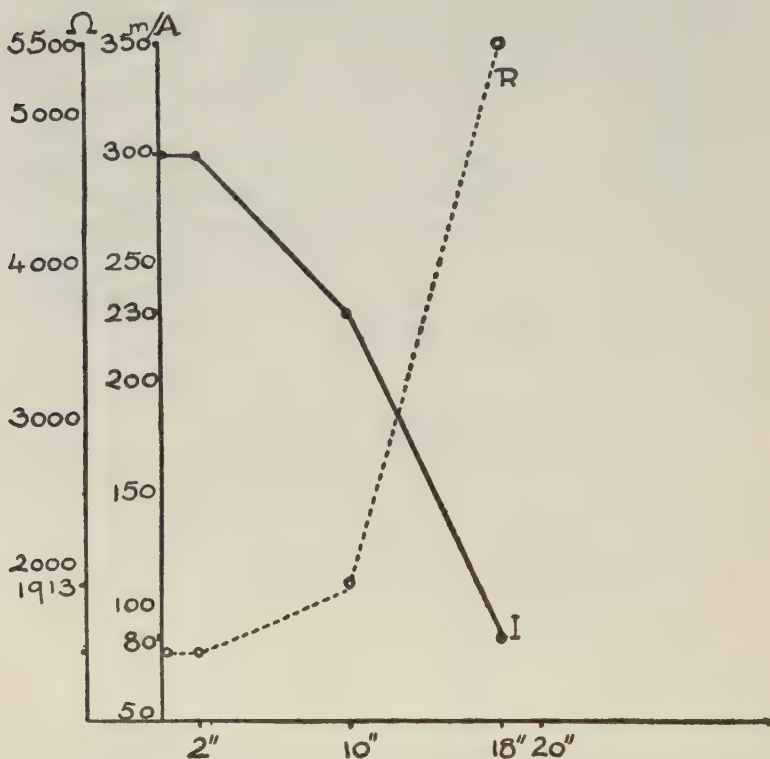


FIG. 10. — Exp. XIV (Cobaye n° 10).

EXPÉRIENCE XV (fig. 11)

Lapin n° 1. — Même disposition des électrodes que pour les Cobayes, mais on est obligé d'imprégner d'eau salée le poil isolant des pattes. Sinon, le courant, sous une tension de 240 et même 440 volts, ne passe pas.

E volts	I milliampères	T secondes	R ohms
240	90	0	2800
»	90	5	2800
»	100	1'	2400
»	110	1'5"	2181
248	115	1'30"	2155
»	130	1'50"	1907
»	140	2'30"	1771
»	150	2'50"	1653
»	160	3'30"	1550
240	170	4'	1411
244	180	4'30"	1300
»	190	5'	1285

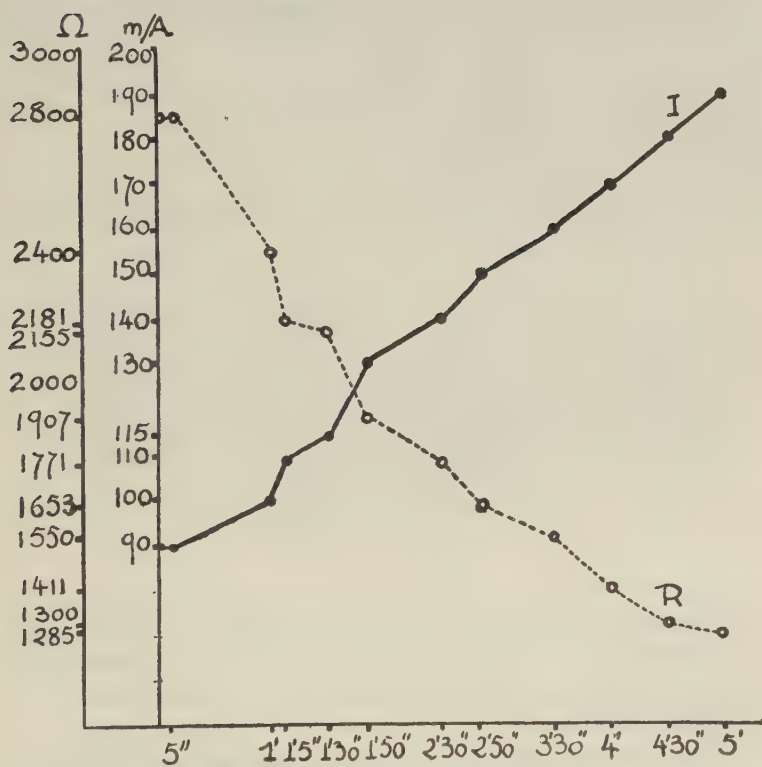


FIG. 11. — Exp. XV (Lapin n° 1).

On arrête le courant, l'animal survit. Il a paru relativement peu affecté par le passage du courant, mordillant l'électrode placée sur sa patte antérieure. Cyanose.

Localement : Patte postérieure droite, section du tendon d'Achille. La patte est à moitié sectionnée au-dessus du calcaneum, où l'on constate la disparition des parties molles comprises entre l'os et les téguments.

Patte antérieure gauche, eschare assez profonde à la face externe, ayant le diamètre d'une pièce de un franc.

Une semaine après, on constate la disparition de la peau recouvrant l'os qui est à découvert. Il paraît sortir d'un bloc fibreux qui constitue le moignon. Aucune hémorragie, ni primitive ni secondaire. Pas de réactions inflammatoires. L'animal utilise son membre desséché sans paraître éprouver de la douleur.

EXPÉRIENCE XVI (fig. 12)

Lapin n° 2. — Même disposition des électrodes que dans l'expérience précédente.

E volts	I milliampères	T secondes	R ohms
440	280	0	1571
»	340	10	1293
»	380	15	1158
»	440	25	1000
»	480	35	917
»	0	40	∞
»	»	52	∞

On arrête le courant au moment de la mort apparente de l'animal. Il avait paru très affecté par le passage du courant : contractures en hyperextension, pas de cris, quelques hoquets. Cyanose.

AUTOPSIE. — *Localement* : Patte postérieure droite, raideur très marquée. La patte est en extension forcée. A l'endroit

de son insertion sur le calcanéum, le tendon d'Achille a disparu.

Les téguments sont brûlés et il ne reste que le tibia enveloppé par la peau macroscopiquement intacte.

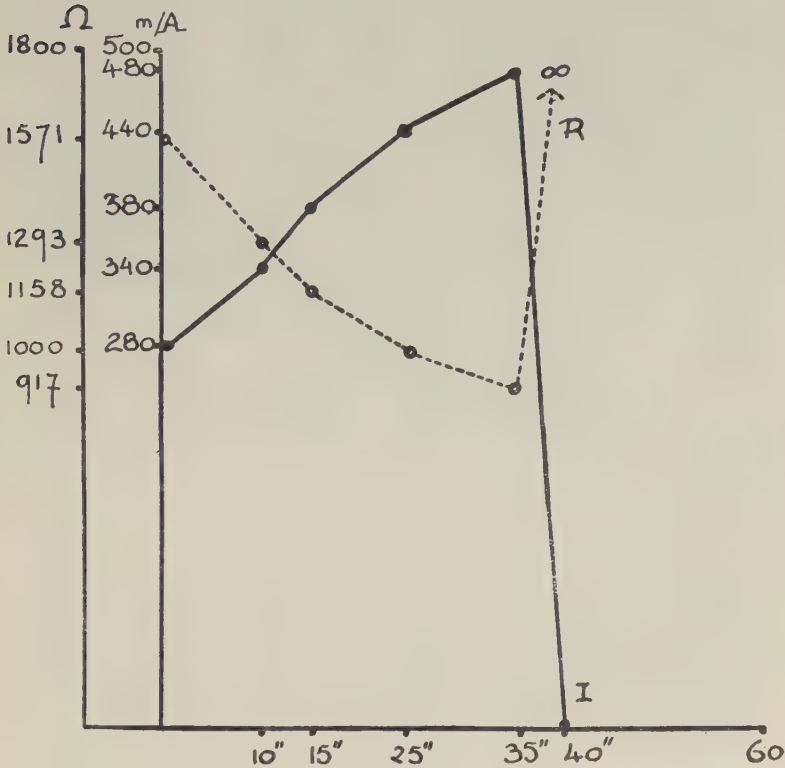


FIG. 12. — Exp. XVI (Lapin n° 2).

Patte antérieure gauche, eschare à la face externe.

A l'ouverture de la paroi thoraco-abdominale : Poumons très congestionnés. Il s'écoule une grande quantité de sang très fluide à la coupe.

Foie : Congestion intense.

Rein : Congestionné.

Le sang est noir et fluide.

*
* *

Deux faits sont particulièrement frappants quand on examine cette série d'expériences :

Aucun animal n'a été tué sur le coup. Il n'y a pas eu de mort par inhibition bulbaire, même pour les Cobayes n° 2, n° 3 et n° 4 soumis à des contacts craniens.

Aucun animal n'est mort par tétanisation du thorax. Seul le Cobaye n° 2 (Exp. V) a présenté un arrêt de la respiration en inspiration forcée qui coïncide avec une intensité double de celles qui furent relevées dans les autres expériences : 800 milliampères au lieu de 400. Ce cas est à rapprocher de celui de l'élève mécanicien qui présente aussi une tétanisation des muscles respiratoires, qui ne peut « prendre l'air » et dont il est dit (Obs. XVII) que la peau n'offre qu'une très faible résistance au courant.

Il ne nous fut pas possible de procéder à des observations sur le cœur pendant le passage du courant, étant donné les précautions nécessitées par les tensions employées. Nous n'avons jamais constaté d'arrêt du cœur aussitôt après le passage du courant.

Le Cobaye n° 1 présente un état hypotonique des fibres musculaires lisses de son tractus intestinal, correspondant aux troubles vasomoteurs qui se produisent au niveau des vaisseaux du poumon (œdème pulmonaire), du foie (couleur noirâtre) et du rein. Ces faits cadrent bien avec l'hypothèse de mort électrique par shock (théorie de Cot).

L'étude des courbes de l'intensité et de la résistance nous explique l'influence de la tension sur les brûlures électriques. Pour une tension $E = 220$ volts, il passe dans le circuit, au moment de sa fermeture, un courant de 50 milliampères environ. Ce chiffre augmente d'abord avec le temps parce que l'augmentation de température due au passage du courant fait baisser la résistivité des solutions salines constituant les liquides physiologiques. Il atteint un maximum après un temps de passage assez long (une minute et demie environ pour le Cobaye). A ce moment la dessiccation des

contacts, l'apparition possible de forces contre-électromotrices et surtout la formation de brûlures isolantes font monter la résistance, et l'intensité décroît progressivement (fig. 7, exp. XI et fig. 8, exp. XII).

Pour $E = 440$ volts, l'intensité décroît presque immédiatement (fig. 9, exp. XIII), ou même elle diminue dès le début du passage du courant (fig. 10, exp. XIV). Elle tombe aussitôt à une valeur négligeable (fig. 9, exp. XIII et fig. 12, exp. XVI) ou en tout cas diminue dans de très fortes proportions (fig. 10, exp. XIV). Cette chute de l'intensité est due à l'apparition de brûlures profondes faisant disparaître en bloc les tissus conducteurs des pattes des animaux en expérience. Le temps pendant lequel l'intensité a présenté des valeurs élevées est relativement court, si on le compare à celui qui s'écoule pendant la croissance et la décroissance de l'intensité du courant à 220 volts.

Il ne faut pas rapporter la mort du Cobaye n° 6, qui a succombé à un contact de 3 minutes, au fait que la quantité d'électricité qui l'a parcouru a été double de celle qui a été débitée dans le corps du Cobaye n° 7. Le Cobaye n° 2 est mort après 3 chocs électriques ayant débité dans son organisme 0,96 coulomb, alors que le Cobaye n° 5 était parfaitement vivant après un contact de 10 secondes avec un courant ayant débité 0,80 coulomb, quantité du même ordre de grandeur.

Il semble que l'organisme se lasse de résister. Jellinek a déjà noté l'existence d'une sorte d'inhibition qui diminue avec le temps.

D'autre part nous voyons la notion de temps intervenir dans un autre ordre de faits : la répétition des chocs électriques. Le Cobaye n° 2, qui avait résisté à 2 passages de courant dont un à 800 milliampères par contact cranien, a succombé à un troisième choc faisant passer une intensité à peine supérieure (830 milliampères).

Le trajet ne nous a pas paru jouer un rôle capital lors de nos expériences, à moins que l'arrêt de respiration présenté par le Cobaye 2 (exp. V) ne soit dû au fait que le bulbe se trouvait sur le passage du courant.

II. — Résumé des rapports consignés dans les procès-verbaux de la Commission constituée pour examiner les accidents électriques.

OBSERVATION I

L'accident G..., 25 juillet 1930, est survenu chez une garde-barrière de la région d'Ychoux, à la suite d'une rupture d'isolateur de la ligne 60.000 volts alternatif ayant provoqué, par l'intermédiaire d'une ogive et d'un câble armé souterrain, la production de courants telluriques de surface. La victime, dont les pieds et les mains étaient humides, se serait trouvée soumise par ses pieds à des potentiels différents, d'où chute, puis contact avec un levier d'aiguille lui-même à un autre potentiel, et mort subite.

AUTOPSIE. — L'examen et l'autopsie du cadavre furent pratiqués à l'Institut médico-légal par M. le professeur Lande, qui fit les constatations suivantes :

Pas de marques électriques.

Aspect asphyxique du cadavre.

L'autopsie révèle une congestion du lobe inférieur des deux poumons, ainsi que du lobe moyen du poumon droit. Quelques ecchymoses toutes pleurales, suffusions sanguines sous-pleurales. Petits foyers hémorragiques dans le poumon. A la coupe des lobes inférieurs de ces organes, il s'écoule du sang noir, fluide.

Surcharge graisseuse du cœur, très marquée, accompagnée de dégénérescence probable du myocarde. Les cavités droites contiennent du sang fluide.

Le foie, un peu gros et mou, présente l'aspect de la dégénérescence graisseuse.

Reins congestionnés.

La mort de Mme G... doit être attribuée à l'asphyxie, probablement due à l'électrocution.

OBSERVATION II

L'accident S... est survenu le 1^{er} août 1930.

Cet ouvrier électricien, 31 ans, placé sur le bâti mécanique d'un groupe, tenait à pleine main une pièce de dynamo en contact avec le négatif d'une ligne 240 volts, courant continu. Quoique « faisant terre », il n'éprouvait aucun symptôme, ses sandales sèches étant parfaitement isolantes.

Ayant heurté avec la tête le positif de la ligne, il fut traversé de la tête à la main droite par un courant continu de 240 volts.

Chute immédiate. Perte de connaissance. Nécessité d'un quart d'heure de respiration artificielle pour revenir à lui. État de fatigue assez prononcé le jour suivant. A repris intégralement son travail.

Localement, petit point cicatriciel dépourvu de cheveux, de la grosseur d'une lentille, au-dessus de la tempe droite.

OBSERVATION III

L'accident D... est survenu le 1^{er} novembre 1930. Ce mécanicien à la Traction, 35 ans, monté sur l'échelle d'ascension et se tenant avec la main gauche à la poignée-montoire d'une locomotive électrique, a saisi, par mégarde, avec la main droite, le pantographe sous tension; il reçoit un courant de 1500 volts continu qui atteint les deux mains et les deux avant-bras, faisant court-circuit d'une main à l'autre. Contact d'une demi-minute environ. Il reste suspendu à un crochet de la machine. Lésions locales profondes des deux mains et des deux poignets, face antérieure, ayant évolué sans infection mais entraînant sphacèle et élimination de

tendons. Hémorragies secondaires ayant nécessité successivement la ligature des deux cubitales. Mains impotentes, en battoir, avec troubles trophiques. Un an de traitement. Réformé à 95 %.

Accidents généraux : perte de connaissance, aspect vultueux asphyxique. Issue du sang par la bouche, le nez, les oreilles.

Revenu à lui après quelques mouvements respiratoires.

A signaler, dans la journée qui a suivi, une polyurie abondante.

OBSERVATION IV

L'accident L..., mécanicien à la Traction, 51 ans, est arrivé le 7 juillet 1931. Monté sur l'échelle d'ascension et se tenant avec la main gauche à la poignée-montoire d'une locomotive électrique, L... saisit avec la main droite un pantographe sous tension. Il est parcouru d'une main à l'autre par un courant continu à 1500 volts. Chaussé de sandales à semelles caoutchouc. Le contact a pu durer une dizaine de secondes. Brûlures profondes des mains, face palmaire, des poignets et du pli de flexion du coude gauche.

Précipité à terre, sans connaissance, a repris ses sens sans action étrangère.

Un an de traitement.

Mains impotentes. Troubles trophiques. Sera réformé 100 %.

Il n'est pas possible de dire en quoi ont consisté les accidents généraux, les témoins n'étant arrivés que tardivement à l'appel de l'accidenté revenu à lui. Durée de la perte de connaissance : 5 à 10 minutes.

OBSERVATION V

Accident L..., survenu le 11 avril 1931. Cet ouvrier électricien réparait la ligne au haut d'un pylône. Il touche le câble, qu'il ne croyait pas sous tension, et dérive le courant à

10000 volts alternatif à la terre, le contact s'établissant par la face interne de ses membres inférieurs avec le pylône; les pieds étaient isolés par des semelles de caoutchouc. Le contact a duré quelques secondes. Brûlures étendues et profondes à la main gauche et à la face interne des membres inférieurs. Guérison avec mutilation de la main et cicatrices aux membres inférieurs; impotence fonctionnelle 30 % pour les lésions de la main seule.

Perte de connaissance passagère qui s'est dissipée spontanément.

OBSERVATION VI

Accident survenu le 6 janvier 1931 à T..., 40 ans, ouvrier électricien, qui réparait au haut d'un pylône une ligne téléphonique. Son pied a heurté une ligne à 1500 volts continu qui passait à proximité. Le courant s'est établi de son pied gauche à ses mains qui enserraient le pylône. Pied carbonisé, avec anesthésie totale remontant au 1/3 inférieur de la jambe. Brûlures profondes aux mains et aux avant-bras. Les jours suivants, infection du pied atteint. Amputation de la cuisse après 3 semaines d'observation. Cicatrices des deux mains. Impotence 80 %.

Les symptômes généraux ont été assez peu marqués. Perte de connaissance restée inaperçue des témoins.

OBSERVATION VII

F..., 32 ans, accident survenu le 4 septembre 1931. Monté sur une machine pour réparer un pantographe qu'il tenait de la main gauche et que touchait son pouce droit, il touche la catenaire avec une barre métallique qu'il tenait sous le bras gauche. Le courant serait passé par la tige métallique, aurait traversé les effets, serait revenu à la terre par la main gauche, le pouce droit et les pieds placés sur la machine.

Perte de connaissance immédiate. Chute sur le rail entraî-

nant une fracture du calcanéum. Localement, brûlure très superficielle du pouce droit ayant guéri sans laisser de traces.

OBSERVATION VIII

L'accident D..., mécanicien au Service de la Traction, 32 ans, est survenu en août 1927 : contact très bref de la face externe de la main gauche avec un pantographe sous tension, les pieds étant à la terre.

D... eut immédiatement la sensation de tremblements rapides auxquels il ne pouvait se soustraire (une douzaine pendant le temps de contact), pas de perte de connaissance. Un camarade le vit entouré d'étincelles, mais ses effets ne furent pas brûlés. Brûlure profonde à la face externe de la main gauche, qui mit deux mois à guérir. Les accidents généraux furent réduits à une sensation de lourdeur des muscles et des doigts du bras gauche.

OBSERVATION IX

Accident S..., survenu au départ de Bordeaux, le 18 décembre 1927. S... a saisi de la main droite un pantographe sous tension, tandis que la gauche était à la terre par l'intermédiaire d'une poignée métallique. Il a été traversé d'une main à l'autre par un courant très court. Précipité à terre immédiatement, S... n'a pas perdu connaissance et n'a présenté qu'une brûlure légère entraînant seulement une desquamation épidermique.

OBSERVATION X

L'accident P..., manœuvre, s'est produit le 21 décembre 1926. Monté sur le toit d'une locomotive électrique, P... se tenait avec la main gauche à une pièce métallique à la terre.

Il a effleuré de la main droite une pièce sous tension et a été traversé par le courant continu à 1500 volts.

Le médecin de la section, arrivé 10 minutes après l'accident, constate des brûlures sur les deux mains. Cœur et respiration arrêtés. 1 heure et demie de respiration artificielle n'a donné aucun résultat.

OBSERVATION XI

L'accident J..., mécanicien du réseau Paris-Orléans, est survenu le 14 juin 1932. Cet agent, monté sur une machine à vapeur, heurte de la tête la catenaire à 1500 volts continu, le pied étant en contact avec la masse de sa machine. Mort apparente immédiate. Aspect bleuté asphyxique qui se serait manifesté plus marqué aux premiers mouvements respiratoires artificiels. Lésion locale : décollement épidermique devant les malléoles gauches, petite érosion au vertex. Trois heures de respiration artificielle et les toniques cardiaques n'ont donné aucun résultat.

OBSERVATION XII

Accident S..., mécanicien de la Traction, survenu le 24 juin 1932. Se tenant à une poignée métallique, S... a heurté un pantographe sous tension, à la suite d'un faux mouvement. Il a été traversé d'une main à l'autre par un courant de 1500 volts pendant 1 minute. Les accidents locaux ont consisté en brûlures profondes des deux mains. Au point de vue général, état de mort apparente immédiate avec asphyxie aiguë, écume sanguinolente. Vaines manœuvres de respiration artificielle pendant 3 heures, avec oxygène et toniques cardiaques.

OBSERVATION XIII

L'accident R... Alexandre, aide-conducteur électricien, s'est produit le 12 octobre 1932, vers 16 heures. R..., placé sur

le pont d'intercommunication de deux machines accouplées, a heurté une pièce sous tension à 1500 volts continu, avec un fil de fer qu'il tenait dans sa main droite. La durée du passage du courant fut de 2 à 3 secondes.

Contraction de la jambe droite. Le choc a fait plier le genou. R... n'a pas crié; il était très pâle, presque livide, mais n'a pas perdu connaissance et a pu aller se faire panser chez le médecin.

Lésions locales : Brûlure de la région hypothénar, du diamètre d'une pièce de 50 centimes, ayant intéressé le derme. A la face antérieure du poignet droit, plaie large sur laquelle l'épiderme soulevé s'est en partie réappliqué. En l'enlevant on détermine une plaie de 6 centimètres sur 8. Aux dires du blessé, elle n'apparut que le soir et le lendemain, sous forme d'une bulle séreuse ayant atteint le volume d'une noix et qui s'est ultérieurement percée.

A noter, au point de vue des contacts, que R... déclare avoir précédemment accompli un travail qui avait laissé sur sa main et sur son poignet de la limaille de cuivre et des poussières d'émeri, et qu'il portait des chaussures à semelles de caoutchouc.

OBSERVATION XIV

Le 3 novembre 1932, à 10 h. 20, l'aide-monteur C... Maurice, entre en contact, au niveau de la joue (région parotidienne) et de la mastoïde, avec une barre métallique sous tension de 1500 volts continu, alors qu'il procédait à la réparation d'une locomotive électrique. Amorçage d'un arc dont la lueur prévient un camarade qui abaisse le pantographe. Perte de connaissance. Douze minutes de respiration artificielle font revenir le blessé à lui. A noter que, dès les premiers mouvements, la figure prit une coloration violacée.

Accidents locaux : Brûlures du 3^e degré aux points de contact avec la barre sous tension. Pas d'autres traces de

sortie du courant que des marques minimales au niveau du pouce droit et de la tabatière anatomique.

Au point de vue symptômes généraux : État de mort apparente avec pâleur, apparition d'une coloration violette après les premiers mouvements de respiration artificielle. Shock : le sujet ne reprend connaissance de sa situation que trois heures après l'accident. Réflexes oculaires paresseux à la lumière. Pas de réflexes tendineux rotuliens pendant les 48 heures qui suivent l'accident. Albuminurie pendant les 2 premiers jours : 0,20 centigrammes. Tension : 12-7.

Il est à noter que C... portait des semelles en caoutchouc.

OBSERVATION XV

Accident survenu à l'agent D..., le 15 mai 1933. D..., qui nettoyait les bornes d'un transformateur, monta sur le portique qui supportait les pôles d'un sectionneur du triphasé à 60.000 volts. Le blessé a été atteint par un arc à 60.000 volts ayant jailli entre phases, d'un pôle du sectionneur à l'autre, et par un courant de 33.000 volts dû à la dérivation par son corps appuyé au portique.

D'après les répercussions de ce court-circuit sur des disjoncteurs placés à 100 kilomètres et le décrochage des sous-stations distantes de 250 kilomètres, on put estimer l'intensité du courant accidentel à 160 ampères.

Pas de perte de connaissance; pas d'arrêt circulatoire ou respiratoire. Il n'a pas été utile de pratiquer la respiration artificielle.

Les points d'entrée et de sortie du courant paraissent avoir été d'une part le membre supérieur droit qui se présente rigide, coagulé, avec brûlures intéressant la peau, les aponévroses, les tendons et les muscles et, d'autre part, un sillon horizontal profond de la peau de l'abdomen, au niveau de l'ombilic.

Aussitôt après l'accident, le blessé a présenté une dyspnée intense avec spume sanguinolente aux lèvres. A une courte

période d'excitation a succédé une phase de dépression avec tachycardie, oppression et soif ardente. Les paupières se sont tuméfiées. Apparition de vomissements sanguinolents une heure après l'accident et d'urines hématiques deux heures après. Le malade est mort dans la nuit qui a suivi l'accident, à la 12^e heure.

OBSERVATION XVI

Accident survenu au monteur D..., le 7 juillet 1933. Cet agent, monté sur le toit d'un locomoteur, a heurté un pantographe sous tension et a été soumis aux effets du 1500 volts continu. Il est tombé sur le sol, la tête en avant. D... était violacé. La respiration artificielle fut immédiatement pratiquée pendant 3 heures, sans succès. Trois médecins ne purent le rappeler à la vie.

Localement : Une seule trace de passage du courant au niveau du point d'entrée du courant (main gauche). La sortie a dû se faire par les autres parties du corps en contact avec la masse.

Au point de vue général : aspect asphyxique du cadavre. A noter que D... avait des semelles de cuir.

OBSERVATION XVII

Accident S..., élève mécanicien, survenu le 1^{er} août 1933, à midi.

Un démarreur automatique ayant refusé de fonctionner, S... voulut appuyer avec une baguette en bois sur la mâchoire à 1500 volts du démarreur pour essayer de l'enclencher. Il déclare avoir ressenti une commotion qui lui fit faire un mouvement brusque au cours duquel le pouce de sa main droite heurta les grilles en fonte des résistances de démarrage. Comme à ce moment sa main gauche touchait une main courante à la masse, S... fut électrocuté par un courant à basse tension qui le brûla légèrement.

Une mesure de la résistance du morceau de bois dont s'est servi S... indique que ce n'est pas le 1500 continu qui l'a frappé. M. l'inspecteur Veques soupçonne que S... a touché la résistance à 200-300 volts, bien qu'il le nie. Un examen microscopique pratiqué au dispensaire de la Compagnie, à Bordeaux, permet de reconnaître la nature épidermique de débris recueillis sur la grille de la résistance. On est conduit à admettre que cet agent a frôlé la résistance en retirant sa main par un mouvement instinctif au moment où se déclenchait le démarreur.

La tension à laquelle il fut soumis a dû être de 100 volts, et les brûlures locales qui en ont résulté, très minimales.

Les phénomènes généraux, au contraire, ont été assez marqués : tremblements des mains et des avant-bras pendant 4 minutes, sensation de dilatation forcée de la poitrine l'empêchant de « prendre l'air ». Il y aurait eu une obnubilation incomplète dont la victime garde conscience. Cet état s'est dissipé rapidement, et S... a pu remettre en marche son convoi avec 8 minutes de retard.

Une impression de pesanteur des avant-bras a persisté les jours suivants.

Examiné à l'appareil de sélection, le lendemain de son accident, cet agent a été classé dans la catégorie des sujets ayant une forte conductibilité des mains.

S... était chaussé de semelles en caoutchouc.

OBSERVATION XVIII

L'accident E... Henri, 46 ans, mécanicien au Service de la Traction, est arrivé le 25 octobre 1933, à 11 heures.

Arrachant de ses deux mâchoires un fusible cylindrique, terminé par deux douilles, et qu'il ne croyait pas sous tension, il entra en contact avec la douille inférieure qu'il libéra la première. L'autre, restée dans ses mâchoires, lui a transmis la tension des 1500 volts. L'entrée du courant se fit par la paume de la main droite, la sortie par la paume

de la main gauche, appuyée à un montant métallique. Les pieds étaient relativement isolés par des semelles en caoutchouc. Perte de connaissance de 15 secondes et chute, qui interrompt le passage du courant. Sensation de mort imminente au moment où le sujet reprend conscience. Ses membres sont comme ligotés. Fatigue générale, lourdeur de la tête, cauchemars dans la nuit qui suivit l'accident.

Localement : Sensation de brûlure non localisée, plus marquée au niveau des doigts, et non pas à celui des marques électriques. Celles-ci, examinées le 4 novembre, présentent l'aspect que montre la figure 14. Deux brûlures à la main droite. La première, sur l'éminence thénar, est allongée. A ce niveau, la peau est blanche, dure, rôtie. L'épiderme a disparu sur moitié de la surface de la lésion. La seconde, sur l'éminence hypothénar, est plus profonde, plus régulièrement arrondie, comme taillée à l'emporte-pièce. Elle laisse apercevoir un fond rose. Pas de décollement du bord qui est rôti.

La main gauche présente de nombreuses traces du passage du courant donnant l'impression que l'on a enfoncé une aiguille dans la peau, parallèlement à sa surface, et qu'on l'a arrachée en la tirant perpendiculairement à sa plus grande dimension. La peau qui recouvre la face palmaire de la phalangette du médius a glissé, formant un bourrelet dur comme un ongle. L'extrémité du doigt est aplatie.

L'examen pratiqué au dispensaire de la Compagnie avec l'appareil de sélection, classe E... parmi les sujets à mains très sèches, à très faible conductibilité.



Brûlures électriques en voie de cicatrisation.



Brûlures électriques.

III

CONCLUSIONS

Quand on envisage l'ensemble des observations d'électrocution réunies à Bordeaux, au Dispensaire de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, on est immédiatement frappé par le *nombre restreint des accidents*, comparativement à l'étendue des lignes électriques de l'arrondissement dans lequel ils se sont produits.

On n'a encore signalé aucun accident sur le super-réseau à 150.000 volts qui aboutit au poste abaisseur de Pessac. L'électrocution d'un agent au contact de deux pôles d'un sectionneur de triphasé à 60.000 volts n'indique pas que ce courant soit plus dangereux ou que son installation rende plus difficiles les mesures de sécurité. Le geste acrobatique accompli par la victime pour se faire électrocuter est tellement anormal et inexplicable que l'hypothèse de suicide a été envisagée.

On signale un seul accident sur les lignes à 10.000 volts destinées à fournir l'énergie aux appareils d'éclairage et aux servomoteurs des gares. Il est vrai que ces lignes sont de beaucoup les plus courtes.

Les accidents survenus au contact des catenaires et des appareils utilisant la tension de 1500 volts sont plus nombreux. Il faut noter que ce réseau à 1500 volts présente un développement considérable et que les agents sont appelés par leurs services à manipuler constamment ces appareils.

Les accidents par courant de basse tension, si fréquents chez les autres usagers, ont été extrêmement rares à la Compagnie. On en note seulement deux.

C'est aux ingénieurs qui ont établi le réseau et les locomoteurs que revient le mérite d'avoir rendu si rares les accidents de la *haute tension*. L'immunité dont semble jouir le personnel de la Compagnie à l'égard de la *basse tension* est le meilleur test de l'efficacité des méthodes préventives appliquées dans la Compagnie : *instruction spéciale* du personnel, à laquelle est venue s'ajouter au cours de l'année 1933 une *sélection des candidats* au moment de leur admission.

Il serait souhaitable que ces mêmes mesures soient prises dans le grand public. La sélection serait remplacée par un examen de la prédisposition possible du sujet. Celui-ci serait ainsi averti du risque particulier qu'il court au contact du courant, ce qui l'inciterait à être prudent, et parfois à changer son orientation professionnelle.

La nécessité de faire étudier en *commission mixte*, composée d'ingénieurs électriciens et de médecins, les cas d'accidents qui se présentent, apparaît évidente après lecture des observations I, V, XV et XVII.

Dans le premier de ces cas, un examen approfondi de la ligne, auquel un médecin ne pouvait se livrer, a permis de comprendre les phénomènes électriques qui avaient causé l'accident. L'autopsie pratiquée par le Professeur Laude a mis en évidence les lésions d'asphyxie qui permirent d'écarter les causes de mort subite autres que le choc électrique. Dans les cas de mise à la terre d'un conducteur à travers le corps du sujet, beaucoup de médecins non avertis oublient que la différence de potentiel entre un des fils d'une installation de courant triphasé et la terre est égale à $\frac{E}{\sqrt{3}}$ (obs. XV).

Dans l'observation XVII nous trouvons un exemple tout à fait typique de l'intérêt présenté par la collaboration du médecin et de l'ingénieur.

L'étude des facteurs physiques du courant a montré que les courants de *forte tension* (1500 à 60.000 volts) ont toujours donné des lésions locales plus ou moins profondes, quelquefois très minimes (obs. VII et IX), parfois très graves (obs. III-IV-V-VI-XII).

L'intensité n'a jamais pu être déterminée, même approximativement, pour les accidents survenus sur les lignes. Au moment de l'électrocution rapportée dans l'observation XV, le déclenchement de disjoncteurs distants de 100 kilomètres du lieu de l'accident et le décrochement de sous-stations placées jusqu'à 250 kilomètres ont permis d'estimer à 160 ampères au moins l'intensité de l'arc qui s'est produit. Mais cet arc, qui a enveloppé la victime, a dérivé une part importante du courant qu'il est impossible de chiffrer.

Sous la direction de M. le médecin général Uzac, médecin principal du premier arrondissement de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, on a mis au point, au Dispensaire de Bordeaux, un appareil de mesure extrêmement ingénieux, permettant de classer les sujets d'après la conductibilité de la face palmaire de leur main.

La conductibilité au point d'entrée, et particulièrement celle des mains, joue un rôle dont l'importance paraît démontrée d'une façon très nette par la comparaison des faits relatés dans les observations XVII et XVIII : l'agent S..., qui a frôlé durant quelques dixièmes de seconde une grille de résistance sous tension de 100 volts, a présenté des accidents généraux relativement graves quoique passagers. Il a été accidenté à midi, le 1^{er} août, dans une motrice surchauffée. D'après l'appareil de sélection, il doit être placé parmi les sujets à mains humides de grande conductibilité.

Inversement, le mécanicien E... fut atteint à la main droite par un courant de 1500 volts, sa main gauche à la terre, et ne présenta au point de vue général qu'une réaction légère, caractérisée par une obnubilation de quelques secondes, et des phénomènes de contracture très passagers. L'épreuve de conductibilité des mains le classe parmi les sujets à mains sèches, peu conductrices.

Aussi est-on conduit à envisager la nécessité d'un renforcement de la sélection basé sur la conductibilité des téguments du sujet.

La protection due aux mauvais contacts est mise en évidence par plusieurs observations. Ce sont celles de l'aide-

monteur électricien R... (obs. XIII) et du mécanicien E... (obs. XVIII), protégés par leurs *semelles de caoutchouc*. L'agent F... (obs. VII), heurtant une catenaire à 1500 volts avec une barre métallique qu'il tenait sous le bras gauche, est à peine brûlé. L'interposition des effets à cet endroit a certainement limité le courant. On peut expliquer l'absence de brûlures au niveau de ce mauvais contact par le fait que l'épaisseur des tissus, légèrement humides au niveau de l'aisselle, a diminué l'intensité du courant et joué le rôle d'*électrode large*, répartissant ce courant sur une assez grande surface de la peau.

Au point de vue expérimental, le passage sous 440 volts d'un courant de 280 à 480 milliampères détermine une disparition complète des parties molles comprises entre les os et la peau de la patte d'un Lapin électrocuté. L'électrode d'entrée, large, imprégnée de sérum physiologique, avait protégé la peau qui ne présentait pas de lésions macroscopiques : l'effet joule s'était localisé en profondeur, au niveau des tendons plus résistants (exp. XII, Lapin 2).

La *quantité d'électricité* qui traverse le corps de l'individu est le produit de deux facteurs : l'intensité du courant et le temps de passage de ce dernier. L'augmentation du facteur intensité aggrave le danger dans des proportions plus grandes que l'augmentation du facteur temps, même si la quantité d'électricité débitée est la même dans les deux cas. Le Cobaye n° 2 (exp. VIII) est mort après trois chocs ayant débité dans son organisme 0,96 coulomb. Le Cobaye n° 5 était parfaitement vivant après un contact de 10 secondes avec un courant ayant débité 0,80 coulomb, quantité d'électricité du même ordre de grandeur que la précédente.

Beaucoup d'auteurs admettent que le *trajet suivi par le courant* au cours de l'électrocution joue un rôle très important. Les observations de la Compagnie mettent ce rôle en évidence : sur 3 cas de contact cranien, on relève une mort immédiate (obs. XI), une électrocution avec phénomènes généraux graves, aphasie et vomissements de type cérébral

(obs. XIV), et une électrocution ayant entraîné des troubles moins graves (obs. II), mais elle était due à un courant à 240 volts continu au lieu de 1500 volts pour les deux premières. Expérimentalement, pour des intensités du même ordre de grandeur, le contact crânien a été aussi bien supporté que le contact de patte à patte.

C'est surtout à l'occasion de *travaux de réparation* que se sont produits les accidents d'électrocution. Les *mois chauds de l'année* sont particulièrement riches en cas d'électrocution, parce que la température élevée qui règne alors dans les locaux et surtout dans les motrices détermine une forte transpiration chez les agents, dont la résistance cutanée au choc électrique diminue considérablement.

Les symptômes présentés par les électrocutés sont surtout des *symptômes asphyxiques*. Les phénomènes vaso-moteurs intenses se sont manifestés plusieurs fois par des réactions méningées, gastriques, rénales, etc. Aucune observation ne permet de penser à une mort par *fibrillations ventriculaires*, bien que l'autopsie de la garde-barrière rapportée dans l'observation I ait décelé une lésion chronique du cœur et que dans ce cas l'asphyxie puisse avoir une origine cardiaque. On ne remarque pas la tétanisation ayant entraîné l'asphyxie complète, mais on observe une ébauche de ce phénomène dans le cas de l'observation XVII et de l'expérience V.

Ce qui se produit très souvent, c'est un état de mort apparente avec pâleur extrême qui cesse spontanément ou à la suite de quelques mouvements de respiration artificielle, pour être remplacé par un aspect cyanosé de la face, témoignant du retour vers la périphérie du sang localisé dans les vaisseaux profonds aussitôt après le choc. D'après les observations, ces congestions viscérales intenses sont la règle au cours des accidents électriques. Elle se sont traduites par des symptômes de congestion pulmonaire très vive avec taches de Tardieu vérifiées à l'autopsie (obs. I), ou par une congestion de la face apparaissant chez les électrocutés pâles, peu de temps après le début de la respiration artificielle (obs. XV-XI). Ces congestions viscérales se sont également

manifestées sur le rein et notamment par de l'anurie et de la pollakiurie (obs. III), de l'albuminurie passagère (obs. XIV) et enfin de l'hématurie (obs. XV).

Les *animaux électrocutés* ont tous présenté à l'autopsie une congestion œdémateuse du poumon. Les Cobayes n^{os} 2, 3, 9, 10 et le Lapin n^o 2 ont présenté de plus une congestion du foie plus ou moins marquée, particulièrement intense pour le Cobaye n^o 3 et pour le Lapin. Les reins ont été congestionnés dans tous les cas, sauf pour les Cobayes n^{os} 3 et 4. L'encéphale ne paraît guère plus congestionnée dans les électrocutions avec contact cranien que dans les autres.

Tous ces faits n'infirmement pas la théorie de Jellinek, puisque nous trouvons aussi une proportion énorme de lésions asphyxiques. Il semble pourtant que les phénomènes vasomoteurs très marqués tendent à appuyer surtout la conception de Cot de la mort par l'électricité.

Chaque fois qu'un accident grave s'est produit et qu'on a fait l'épreuve de la conductibilité de la main, on a vu que le sujet se classait parmi les sujets à forte conductibilité.

Ce test paraît donc excellent, et l'appareil utilisé pour le mettre en évidence donne des résultats très constants et très sûrs pour les adultes. Les adolescents sont sujets à des variations, la résistance de leurs mains, moins grande que celle de l'adulte, tend à augmenter irrégulièrement d'un examen à l'autre.

On pourrait baser sur cette épreuve une super-sélection qui donnerait une sécurité qu'on pourrait renforcer par le port de coiffures et de gants isolants, l'observation ayant montré la fréquence des cas d'électrocution par contact au niveau du crâne et de la main.

BIBLIOGRAPHIE

- D'ARSONVAL (A.). — Sur les effets physiologiques de l'état variable en général et du courant alternatif en particulier. *Bulletin de la Société française des Électriciens*, t. IX, p. 146.
- D'ARSONVAL (A.). — Dangers des générateurs électromécaniques et moyen de les prévenir. *Société de Biologie*, 27 décembre 1881.
- D'ARSONVAL (A.). — Les accidents causés par le courant électrique. *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, mai 1910, t. X, 2^e série, p. 355 à 364.]
- D'ARSONVAL (A.). — Échauffement des tissus par les courants de haute fréquence. *Compte rendu des séances de l'Académie des Sciences*, 1^{er} août 1927, t. CLXXXV, p. 324 à 327.
- BALTHAZARD (V.). — Électrocution par courant de basse tension. *Paris médical*, 1922, XLV, n^o 361.
- BALTHAZARD (V.). — Nouvelle observation d'électrocution par courant alternatif, 110 volts. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, Paris, 1922, LXXXVII, 160.
- BALTHAZARD (V.). — Deux nouveaux cas d'électrocution à basse tension. *Annales de Médecine légale*, Paris, 1924, p. 28-29.
- BALTHAZARD (V.). — *Précis de Médecine légale*. Baillière et fils, Paris, 1928.
- BATTELLI. — Mort et accidents par courants électriques industriels. *Archives d'Électricité médicale de Bordeaux*, 1902, X, p. 777-799.
- BAZY (L.). — Sur les effets biologiques de l'électricité à distance. *Presse médicale*, 1^{er} avril 1931.
- BAZY (L.). — Le musée d'électropathologie du professeur Jellinek. *Presse médicale*, n^o 26, 1^{er} avril 1931.

- BORDIER (H.). — Sur un signe nouveau de la mort réelle. Les preuves diathermiques. *Archives d'Électricité médicale*, 1932, p. 273 et 274.
- BINET (L.). — La réanimation. *Presse médicale*, février 1933, n° 15, p. 289.
- BUNET (P.). — Sur le danger d'électrocution et en particulier l'influence de la fréquence élevée. *Revue générale de l'Électricité*, n° 5, 4 février 1928.
- CALIANO. — *Soccorsi d'urgenza*, 3^e éd., Milan, 1901.
- CHAMPION. — *Thèse de Lille*, 1923.
- CLOVES (H. A.). — *The Lancet*, 3 décembre 1892, p. 1297 (Sur une observation d'un cas d'électrocution).
- CLUZET. — Les mesures à prendre en vue d'éviter les accidents dus aux courants électriques de basse tension dans les locaux d'habitation. *L'Avenir médical*, XXX^e an., n° 6, juin 1933, p. 175 à 179.
- CORDONNIER et CHAMPION. — Étude de la résistance électrique du corps humain. *Annales de Médecine légale*, novembre 1924, p. 462.
- COT (C.). — *Les Asphyxies accidentelles*. Chez Maloine, Paris, 1931.
- DIACLÈS. — Protection contre les dangers d'électrocution des installations radiologiques. *Archives d'Électricité médicale*, 1931, p. 459.
- ÉTIENNE MARTIN. — *Précis de Médecine légale*. (Collection Testut.) Chez Doin, Paris, 1932.
- ÉTIENNE MARTIN (M.). — Le musée d'électropathologie du professeur Jellinek à Vienne. *La Médecine du Travail*, V^e année, mars 1933, p. 79-94.
- ÉTIENNE MARTIN (M.). — Le traitement des électrocutés et des blessures causées par l'électricité. *Journal de Médecine de Lyon*, 14^e année, n° 333, 20 novembre 1933, p. 705.
- FAGUET. — Électrocution par courants de 120 volts. Lésions cardiaques antérieures. Autopsie. *Gazette hebdomadaire des Sciences médicales de Bordeaux*, 1924, XIV, p. 377.
- FAIVRE, DUPAIGRE (J.) et CARIMEY (E.). — *Nouveau Cours de Physique*. Chez Masson, 1928.

- FIGUIER. — *Les Merveilles de la Science*. Chez Jouvet, Paris, 1869.
- FOUQUE (C.). — De la mort du cœur dans l'électrocution. Les électrocardiogrammes. *Thèse de Lyon*, 1921-22, in-8°, n° 48, p. 89.
- GALEINARD (P. A. J.). — Contribution à l'étude des effets mortels produits par les courants électriques. *Thèse de Lyon*, 1902-03, in-8°, n° 141, p. 117.
- Génie civil (Le)*. — Appareils pratiquant la respiration artificielle prolongée, t. CI, n° 14, 1^{er} octobre 1932.
- JELLINEK. — Accidents causés par le courant électrique. *Bulletin de la Société française des Électriciens*, t. X, p. 335, mai 1910.
- JELLINEK. — La mort par l'électricité. Résultats pratiques acquis par des études électropathologiques. *Académie des Sciences*, 7 décembre 1925.
- JELLINEK. — Les dommages physiologiques et la mort apparente causés par l'électricité, et sur les nouveaux devoirs du médecin et de l'électricien. *Bulletin de la Société française des Électriciens*, 5^e série, t. I, n° 7, juillet 1931.
- LEHMANN. — Conférence sur les accidents électriques et le traitement des électrocutés, 19 mai 1932.
- LÉONARD (Mc). — L'arc électrique et son application à la soudure. *Bulletin de la Société française des Électriciens*, 5^e série, t. I, n° 9, septembre 1931.
- MAUDUIT. — Effets physiologiques des courants et accidents électriques. Cours d'électricité à l'École supérieure de la Métallurgie et de l'Industrie des Mines de Nancy.
- NACILLE (F.) et DE MORSSIER (G.). — Les accidents dus à l'électricité industrielle. *Annales de Médecine légale*, n° 7, p. 245-282, juin 1927.
- ROBINOVITCH. — Électrocution, étude expérimentale avec courants électriques de basse tension et avec trois cardiographiques et respiratoires. *Archives d'Électricité médicale de Bordeaux*, 1906, XIV, 3-9.
- Société française des Électriciens (Bulletin de la)*. — T. II n° 15, mars 1932. Discussion de la semaine de novembre 1931 : Les accidents de l'électricité.

Sud-Ouest économique (Le). — Numéro spécial sur la houille blanche. L'électrification des Chemins de fer du Midi, 29 février 1928.

UZAC. — De la prévention des accidents par électrocution à la Compagnie des Chemins de fer du Midi. Essai de sélection du personnel prédisposé aux accidents électriques. *Bulletin de la Société française des Électriciens*, n° 33, septembre 1933.

VAN THEMISCHE. — L'électricité homicide. *Bruxelles médical*, 31 juillet 1932, p. 1007.

VAN THEMISCHE. — Le rôle du Service médical dans les industries électriques. Société belge de Médecine et de Chirurgie du Travail. *Bruxelles médical*, n° 8, 25 décembre 1923.

WEISS. — *Traité de Physique biologique*. Chez Masson, Paris, 1901.

WEISS et DAVID. — Les effets physiologiques des courants électriques. *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, août-septembre 1911, t. I, 3^e sem., p. 417 à 502.

ZIMMEM (A.). — Accidents de l'électricité. *Bulletin de la Société française des Électriciens*, 937, 5^e série, t. I, n° 9, septembre 1931, p. 898 à 937.

VU, LE DOYEN.

Pour le Doyen, l'assesseur
GUYOT.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :
LANDE.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER,
Bordeaux, le 13 décembre 1933.
LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE :
TERRACHER.

ERRATA

Les conditions particulières dans lesquelles nous avons dû faire imprimer notre thèse à Paris nous ayant empêché de corriger les épreuves, nous n'avons pu que faire annexer à notre travail une page d'errata.

- Page 17, ligne 3 : *au lieu de* Deoutologue, *lire* Déontologie.
- 19, — 16 : *au lieu de* Veques, *lire* Vèque.
- 24, — 26 : *au lieu de* 150.000, *lire* 1.500.
- 28, — 13 : *au lieu de* infinies,, *lire* infimes.
- 28, — 28 : *au lieu de* Guillemot, *lire* Guillemot.
- 39, — 21 : *au lieu de* demi-période alternatif, *lire* demi-période d'alternatif.
- 42, — 21 : *au lieu de* Veston, *lire* Weston.
- 47, — 16 : *au lieu de* V3, *lire* $\sqrt{3}$
- 50, — 16 : *au lieu de* Monméroüé, *lire* Monmerqué.
- 61, — 15 : *au lieu de* expérience IV, série II, *lire* expérience XII.
- 61, — 17 : *au lieu de* expérience VIII, série II, *lire* expérience XVI.
- 73, — 3 : *au lieu de* 6), *lire* b).
- 74, — 20 : *au lieu de* (obs. XIV), *lire* (obs. XV).
- 75, — 18 : *au lieu de* choran, *lire* thorax.
- 77, — 14 : *au lieu de* elle très faible, *lire* elle peut se produire pour une élévation thermique très faible.
- 80, — 1 : *au lieu de* Shiff, *lire* Schiff.
- 80, — 7 : *au lieu de* Shiff, *lire* Schiff.
- 86, — 32 : *au lieu de* péricarde, *lire* myocarde.
- 87, — 13 : *au lieu de* mort par électrocution, *lire* électrocution par ce mécanisme.
- 88, — 5 : *au lieu de* Baltazard, *lire* Balthazard.
- 94, — 18 : *au lieu de* Sautenoise et Garellou, *lire* Sante-noise et Garrelon.
- 97, — 14 : *au lieu de* Drunker, *lire* Drinker.
- 98, — 3 : *au lieu de* Pikelli, *lire* Piketti.
- 98, — 4 : *au lieu de* Hendersen, *lire* Henderson.
- 105, — 8 : *au lieu de* Veques, *lire* Vèque.
- 107, — 7 : *au lieu de* frises, *lire* prises.
- 126, — 21 : *au lieu de* toutes pleurales, *lire* sous-pleurales.
- 145, — 6 : *au lieu de* Galeinard, *lire* Galimard.
- 145, — 31 : *au lieu de* Nacille, *lire* Naville.
- 145, — 31 : *au lieu de* Morssier, *lire* Morsier.
- 146, — 21 : *au lieu de* Zimmern, *lire* Zimmern.

1933. — Fontenay-aux-Roses.

Imprimerie des *Presses Universitaires de France*. — LOUIS BELLENAND. — 2.257
